

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Institut dopravy**

**Nouzové a odlehčovací brzdné systémy**

**Retarders and Emergency Brake Systems**

**Student:** David Pross

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Michal Richtář

**Ostrava 2012**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**David Pross**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R003 Dopravní technika a technologie

Téma:

Nouzové a odlehčovací brzdové systémy  
Retarders and Emergency Brake Systems

Zásady pro vypracování:

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Legislativní požadavky
3. Analýza stávajících řešení
4. Koncepční návrh a výpočet brzdy
5. Závěry a doporučení

Seznam doporučené odborné literatury:

Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I, Bratislava: ALFA Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7  
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy II, Bratislava: ALFA Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7  
Svoboda, J. Teorie dopravních prostředků, Praha: ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-01613-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Richtárovi, za jeho trpělivost, čas a ochotu poskytnout mi cenné rady k této práci. Dále děkuji Ing. Jaromíru Širokému, Ph.D. za připomínky a konzultace. Také bych chtěl poděkovat mé rodině za poskytnutí zázemí, podporu a pomoc při studiu.

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2012



Podpis studenta

Prohlašuji, že

jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že se s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu náklady, které byly VŠB-TUO na vytvořená díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 21.5. 2012

..... 

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

David Pross

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hlavní 61

747 06, Nové Sedlice

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

PROSS, D. *Nouzové a odlehčovací brzdné systémy*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB–Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 58 s. Vedoucí práce: Richtář, M.

Bakalářská práce se zabývá nouzovým brzděním automobilů, pomocí přídavného brzdného systému. V úvodní části je nastíněn problém současných řešení, poté následuje obecná část, kde je krátký přehled brzd a brzdných soustav. V praktické části se zabývá analýzou stávajícího řešení, je zde popsán experiment a spočítán návrh brzdy. Závěrečná část uvádí přínos a celkové zhodnocení návrhu brzdy.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

PROSS, D. *Retarders and Emergency Brake Systems*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB–Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2012, 58 p. Thesis head : Richtář, M.

Bachelor thesis deals with the emergency braking of cars, using auxiliary braking system. In the introductory section outlines the problem of current solutions, followed by a general section, which is a short summary brakes and braking systems. In the practical part deals with the analysis of the existing solutions, illustrates the experiment, and counted the proposal from the brakes. The final section provides the benefits and overall assessment of the proposal of the brake.

## Obsah

1.	Úvod .....	10
2.	Nouzové a odlehčovací brzdné systémy, jako prvek aktivní bezpečnosti.....	11
2.1.	Aktivní a pasivní bezpečnost .....	11
3.	Legislativní stav.....	12
3.1.	Homologace.....	12
3.1.1.	Žádost o homologaci .....	12
3.1.2.	Uskutečnění homologace.....	13
3.1.3.	Změny brzdového zařízení a rozšíření homologace .....	15
3.2.	Brzdová soustava a její požadavky.....	15
3.2.1.	Brzdová soustava.....	15
3.2.2.	Požadavky na brzdové soustavy .....	15
3.2.3.	Dělení brzdové soustavy.....	17
4.	Přehled současného stavu .....	19
4.1.	Konvekční brzdový systém .....	19
4.1.1.	Dělení z hlediska ústrojí pro dodávku energie .....	23
4.1.1.1.	Přímočinné soustavy s mechanickým převodem .....	23
4.1.1.2.	Přímočinné soustavy s kapalinovým převodem.....	25
4.1.1.3.	Přímočinné soustavy s kapalinovým převodem s posilovačem....	25
4.1.1.4.	Strojní brzda (pneumatická).....	28
4.1.1.5.	Strojní brzda (pneumaticko-hydraulická) .....	29
4.2.	Konstrukce brzd.....	29
4.2.1.	Bubnové brzdy.....	29
4.2.1.1.	Druhy bubnových brzd .....	32
4.2.1.2.	Určení třecího momentu bubnové brzdy .....	33
4.2.2.	Kotoučové brzdy .....	36

4.2.2.1.	Určení třecího momentu kotoučové brzdy.....	37
4.2.3.	Brzdové obložení.....	38
4.2.4.	Brzdová kapalina.....	38
5.	Nouzová brzda.....	40
5.1.	Návrh rozměrů a vlastní řešení.....	40
5.2.	Výpočet zatížení náprav u osobního automobilu – provozní brzdění.....	40
5.2.1.	Statický výpočet.....	41
5.2.2.	Dynamický výpočet.....	42
5.2.3.	Výpočet brzdných drah.....	43
5.3.	Výpočet zatížení náprav u osobního automobilu – nouzové brzdění.....	45
5.3.1.	Statický výpočet.....	45
5.3.2.	Dynamický výpočet.....	46
5.3.3.	Výpočet brzdných drah.....	47
5.4.	Výpočet zatížení náprav u osobního automobilu – kombinované brzdění.....	48
5.4.1.	Statický výpočet.....	49
5.4.2.	Dynamický výpočet.....	50
5.4.3.	Výpočet brzdných drah.....	51
6.	Pevnostní výpočet.....	52
6.1.	Vytvoření sítě.....	52
6.2.	Okrajové podmínky.....	53
6.3.	Průběh napětí.....	54
6.4.	Celková deformace.....	54
7.	Závěr a doporučení.....	55
8.	Seznam tabulek.....	56
9.	Seznam použité literatury.....	57
10.	Přílohy.....	58



## Seznam použitých značek

EHK	Evropská hospodářská komise
EHS	Evropské hospodářské společenství
EU	Evropská unie
ČR	Česká Republika
L	rozvor vozidla
$L_1$	vzdálenost těžiště od osy přední nápravy
$L_2$	vzdálenost těžiště od osy zadní nápravy
$L_3$	vzdálenost těžiště od osy nouzové brzdy
$h_T$	vzdálenost těžiště od povrchu vozovky
m	celková hmotnost vozidla
G	celková tíha vozidla
b	brzdné zpomalení vozidla
$\mu$	součinitel soudržnosti pneumatiky s vozovkou
$F_{Z1}$	normálová síla v ose přední nápravy
$F_{Z2}$	normálová síla v ose zadní nápravy
$F_{Z3}$	normálová síla v ose nouzové brzdy
$B_1$	brzdná síla působící na přední nápravě
$B_2$	brzdná síla působící na zadní nápravě
$B_3$	brzdná síla působící na nouzové brzdě

## 1. Úvod

Počátky, jak brzdít, zpomalit, zastavit a zajistit automobil proti pohybu sahají daleko do historie, kde už člověk vymýšlel první náznaky vozidel a technických zařízení, jako jsou odrážedla, předchůdce jízdních kol, vozíků, které se využívaly např. v dolech, na polích, v lese, na cestách, různých kočárů taženými zvířaty a jiných pohybujících se zařízeních, které si člověk vyrobil, aby si ulehčil práci, převezl osoby, zvířata, nejen těžký materiál, ale také co v největším množství.

Brzdy, brzdové mechanismy, brzdová ústrojí a brzdové systémy se vyvíjejí od samého začátku prvního náznaku brzdění a stále se zdokonalují s rostoucí inteligencí lidí, možnostmi technologie, dokonalejšími materiály a především požadavky a nároky spotřebitelů. U zrodu brzdění začínali lidé tzv. „od nuly“ a vše teprve museli vymyslet, tudíž první brzdové mechanismy byly velmi primitivní. Postupem času se pořád zdokonalovaly předchozí typy a vylepšovaly, až se dospělo k současným brzdám, které je možno stále vyvíjet a zdokonalovat.

Brzdová ústrojí se při vývoji nepodceňují, protože jsou nejdůležitějšími bezpečnostními prvky automobilů, na které je kladen velký důraz pro jejich funkci a spolehlivost, z důvodu stále agresivnější a bezohlednější jízdy řidičů, zvyšující se rychlostí a počtem automobilů, na stále hustší dopravní infrastrukturu. Než se uvede nový typ či změna na stávajícím brzdovém ústrojí do provozu, musí vývojoví pracovníci vše nakreslit, propočítat, vyrobit a odzkoušet prototyp. Pokud všechny požadavky výrobce jsou splněny podle očekávání, musí být řádně homologován.

Legislativní požadavky a homologace je lehce nastíněna v první části mé práce, ve které dále uvádím druhy a rozdělení brzdových zařízení, systémů a provedení kolových brzd s výpočty pro brzdný moment bubnových a kotoučových brzd. V druhé části se zabývám popisem, návrhem, výpočtem a vymodelováním 3D projektu v počítačovém programu Creo Parametric, který poté využiji v počítačovém programu ANSYS, který využívá metodu konečných prvků. Zjistím zde základní druhy namáhání, jako je vnitřní napětí a deformace. Pomocí této analýzy mohu najít případné nedostatky, jako je poddimenzování, či předimenzování systému. Zároveň zde uvádím graf brzdné dráhy v závislosti na rychlosti, mě zvoleným běžně používaným osobním automobilem, teoretické brzdné dráhy osobního automobilu s přidáním nouzového brzdného systému a poté teoretické brzdné dráhy jejich kombinací.

## **2. Nouzové a odlehčovací brzdné systémy, jako prvek aktivní bezpečnosti**

### **2.1. Aktivní a pasivní bezpečnost**

„Vozidla posuzujeme z hlediska aktivní a pasivní bezpečnosti.

Prvky a systémy aktivní bezpečnosti jsou takové prvky a systémy, které zabraňují, nebo předcházejí nehodám. Obecně lze říct, že tyto prvky působí ještě před nehodou.

Pod pojmem aktivní bezpečnost spadá výkon motoru, účinnost brzd, úroveň kompletního podvozku, výkon osvětlení vozidla, výhled z vozidla, atd., tedy všechno to, čím můžeme aktivně havárii zabránit, tzn. rychle odjet z kritického místa, včas zastavit před překážkou a také nespadnout do příkopu. Do tohoto pojmu je také možné zařadit vše, co snižuje únavu a soustředění řidiče, tedy dobré odhlučnění, automatická klimatizace, kvalitní brzdy, přesné řízení, celá řada elektronických protiblokovacích, protiprokluzových a stabilizačních systémů. Z hlediska bezpečnosti je důležité pohodlí řidiče, dobrá ergonomie vozu, dostatečný výhled, teplota v kabině atd. Dobré jízdní vlastnosti, optimální trakce automobilu, to vše také přispívá ke zvýšení úrovně aktivní bezpečnosti.

Pojem pasivní bezpečnost obsahuje vše, co zabrání zranění, nebo úmrtí při nehodě, ať vznikla jakkoliv“. [1]

### **3. Legislativní stav**

„Pro zajištění plynulé dopravy musí mít vozidla schopnost rychlé akcelerace a rychlého zpomalení. Zvlášť důležité je brzdění, tedy snížení rychlosti. Proto jsou požadavky na brzdové zařízení stanoveny zákonem, v ČR vyhláška č. 102/1995 Sb. a vyhláška č. 176/1960 Sb. Tyto požadavky jsou v souladu s homologačními předpisy EHK č. 13, 78, 90.

Ministerstvo dopravy ČR vydalo vyhlášku č. 102/1995 Sb. o schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích na základě § 16 zákona č. 38/1995 Sb. o technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích.

Předpisy Evropské hospodářské komise (EHK) se věnují brzdám v předpisech č. 13 a č. 13-H. V předpise č. 13 jsou shrnuta jednotlivá ustanovení pro homologaci vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění (EU/EHS 71/320). Předpis č. 13-H je jen rozšíření o vozidla kategorie M<sub>1</sub>.

Dle zákona č. 51/2001 Sb. státní správu a státní dozor ve věcech podmínek provozu vozidel na pozemních komunikacích vykonávají podle mezinárodních smluv, kterými je Česká republika vázána, ministerstvo, krajské úřady, obecní úřady s rozšířenou působností a Česká obchodní inspekce.

V České republice má kontrolu, zkoušky a homologace systémů brzdění v pravomoci Ústav pro výzkum motorových vozidel“. [2]

#### **3.1. Homologace**

„Homologace v tomto případě znamená homologaci typu vozidla z hlediska brzdění. Před touto homologací je nutno vytvořit žádost o homologaci.

##### **3.1.1. Žádost o homologaci**

Žádost o homologaci typu vozidla z hlediska brzdění předkládá výrobce vozidla, nebo jeho řádně pověřený zástupce. Musí k ní být přiloženy trojmo dále uvedené doklady s následujícími údaji:

- popis typu vozidla podle položek uvedených v odstavci „Typ vozidla“. Musí být uvedena čísla, nebo symboly, nebo obojí, vyznačující typ vozidla a v případě motorových vozidel vyznačující též typ motoru;
- seznam řádně identifikovatelných součástí, které tvoří brzdné zařízení;
- schéma úplného brzdného zařízení s vyznačením polohy jeho částí na vozidle;
- podrobné výkresy všech součástí, aby bylo možno snadno rychle určit jejich umístění a identifikovat je.

Vozidlo představující typ vozidla určeného k homologaci musí být předáno technické zkušebně. Příslušný orgán ověří před udělením homologace, zda existují dostatečná opatření k zajištění účinného řízení shodnosti výroby.

### **3.1.2. Uskutečnění homologace**

Jestliže vozidlo, které bylo předáno k homologaci podle tohoto předpisu, vyhoví požadavkům podle následujících odstavců, udělí se pro tento typ vozidla homologace.

Každému homologovanému typu se přidělí číslo homologace, jehož první dvě číslice (v současné době 09) udávají sérii změn, které včleňují poslední závažné technické změny předpisu v době udělení homologace. Táž smluvní strana nesmí udělit totéž číslo, témuž typu vozidla vybavenému jiným typem brzdového zařízení, nebo jinému typu vozidla.

Homologace nebo odmítnutí homologace typu vozidla podle tohoto předpisu se oznámí smluvním stranám Dohody používajícím tento předpis, a to na formuláři podle vzoru v příloze k tomuto předpisu a souhrnem informací, obsažených v dokumentech, uvedených v dalších odstavcích, přičemž výkresy, dodané žadatelem o homologaci, musí mít formát maximálně A4 (210x297 mm) nebo musí být složeny na tento formát a musí být ve vhodném měřítku.

Na každém vozidle shodném s typem vozidla homologovaným podle tohoto předpisu se vyznačí nápadně a na snadno přístupném místě uvedeném v homologačním osvědčení mezinárodní značka homologace, která se skládá z:

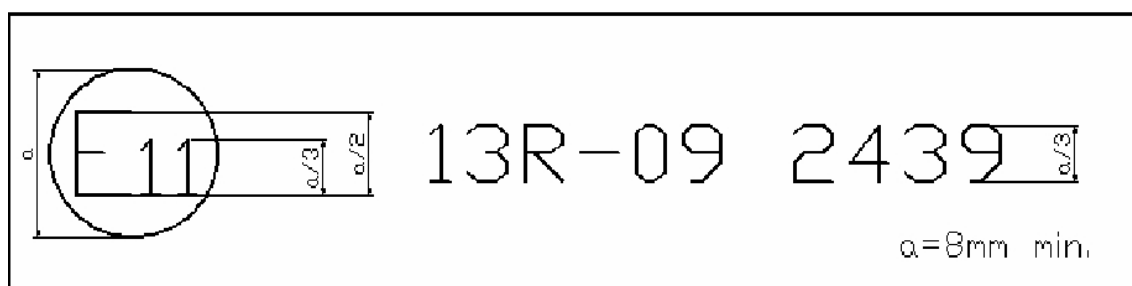
- kružnice, ve které je písmeno „E“ následované rozlišovacím číslem státu, který udělil homologaci (pro Českou republiku je to č. 8), a dále
- čísla tohoto předpisu, za nímž následuje písmeno „R“, pomlčka a číslo homologace, jež jsou umístěny vpravo od kružnice uvedené v odstavci v minulém bodě.

Pokud však bylo homologováno vozidlo kategorie  $M_2$ , nebo  $M_3$  podle ustanovení přílohy v předpisu č. 13 EHK, následuje za číslem předpisu písmeno M.

Pokud je vozidlo shodné s typem vozidla homologovaným podle jednoho nebo více dalších předpisů, které jsou přílohou Dohody ve stejném státě, jenž udělalo homologaci podle tohoto předpisu, symbol uvedený v předchozím bodě se neopakuje; v tomto případě se čísla a doplňkové symboly podle všech ostatních předpisů, podle kterých byla udělena homologace státem, který udělil homologaci podle tohoto předpisu, uvedenou ve svislých sloupcích umístěných vpravo od symbolu v předchozím bodě.

Značka homologace musí být zřetelně čitelná a nesmazatelná a také se musí umístit v blízkosti štítku, kterým výrobce opatřuje vozidla a na němž jsou uvedena hlavní data vozidla, nebo se umístí na tomto štítku“. [3]

Na obr. 1 je vzor uspořádání homologační značky:



**Obr. 1** – homologační značka [4]

„Výše uvedená homologační značka, kterou je opatřeno vozidlo, udává, že typ tohoto vozidla byl homologován ve Spojeném království (E11), a na to z hlediska brzdění, podle předpisu č. 13, pod homologačním číslem 09 2439. Toto číslo znamená, že homologace byla udělena podle ustanovení předpisu č. 13 změněného sérií změn 09. Pro vozidla kategorií  $M_2$  a  $M_3$  tato značka znamená, že tento typ vozidla byl podroben zkoušce typu II.

### **3.1.3. Změny brzdového zařízení a rozšíření homologace**

Každá změna typu vozidla, nebo jeho brzdového zařízení se musí oznámit orgánu státní správy, který udělil homologaci typu vozidla. Tento orgán pak může:

- buď usoudit, že provedené změny zřejmě nemají znatelně nepříznivý vliv a že v každém případě toto vozidlo ještě splňuje ustanovení;
- nebo požadovat nový protokol od technické zkušebny.

Potvrzení o homologaci, rozšíření, nebo odmítnutí homologace se oznámí stranám Dohody, které aplikují tento předpis, podle postupu v předpisu č. 13 EHK.

Příslušný orgán, který udělí rozšíření homologace, přidělí takovému rozšíření pořadové číslo a informuje o tomto rozšíření ostatní strany Dohody z roku 1958, které aplikují tento předpis, a to osvědčením na formuláři podle vzoru v příloze předpisu č. 13 EHK“. [3]

## **3.2. Brzdová soustava a její požadavky**

Brzdy jsou jedny z nejdůležitějších bezpečnostních prvků na vozidle, proto požadavků na brzdění a brzdné soustavy je nepřehledné množství.

### **3.2.1. Brzdová soustava**

„Brzdová soustava je soubor ústrojí, která slouží ke snižování rychlosti jedoucího vozidla, popřípadě až k jeho zastavení, nebo k zajištění stojícího vozidla. Brzdná síla je vyvozena účinkem brzdové soustavy a působí proti pohybu vozidla.

### **3.2.2. Požadavky na brzdové soustavy**

- účinné, spolehlivé a rychlé zastavení jedoucího vozidla při všech rychlostech a hmotnostech, za všech provozních a klimatických podmínek (provozní brzda);
- plynulé řízení brzdného účinku;
- vozidlo se nesmí vychýlit ze směru pohybu při všech rychlostech, hmotnostech a provozních podmínkách (omezovač brzdného účinku);

- při selhání nebo poruše provozní brzdy zastavit vozidlo na přiměřené vzdálenosti (nouzová brzda nožní či ruční);
- udržet vozidlo, soupravu popřípadě odpojené připojovací vozidlo na svahu ve stoupání i klesání za nepřítomnosti řidiče (parkovací brzda);
- omezit rychlost vozidla, nebo ji udržet při sjíždění svahu (pomocná odlehčovací brzda - nemá vozidlo zastavit);
- zastavit přípojné vozidlo při poruše spojení s hnacím vozidlem, aniž by byl porušen brzdový účinek zbytku soupravy (samočinná brzda přípojných vozidel);
- popřípadě využít sil pro přiblížování přívěsu k tažnému vozidlu k jeho přibrzdění (nájezdová brzda);
- dostupnost všech ovládacích orgánů jednou rukou řidiče bez výrazné změny polohy trupu; netýká se nožní brzdy;
- zabezpečit jediným ovládacím orgánem, energií z jediného zdroje, vhodný časový sled brzdění jednotlivých vozidel soupravy (průběžná brzda provozní a nouzová);
- přehlednost instalace pro usnadnění kontroly;
- těsnost vnitřní i vnější;
- při poruše nebo poklesu provozních tlaků signalizovat závadu;
- vysoká životnost, prakticky bezporuchový provoz všech přístrojů včetně spojů;
- nízké nároky na údržbu a obsluhu;
- požadavky na brzdové soustavy jsou stanoveny vyhláškou č. 102 MDČR“. [5]

„Brzdové systémy musí být konstruovány, vyrobeny a namontovány takovým způsobem, aby v normálních provozních podmínkách mohlo vozidlo vyhovět ustanovením tohoto předpisu, a to i při vibracích, kterým může být vystaveno. Zvláště musí být brzdové systémy konstruovány, vyrobeny a namontovány tak, aby odolávaly korozi a stárnutí, kterým jsou vystaveny. Mimo jiná brzdová obložení nesmějí obsahovat azbest. Funkce brzdových systémů, včetně elektrického ovládacího vedení,



nesmějí být nepříznivě ovlivněny magnetickými nebo elektrickými poli. Signál zjišťování závad může přerušit okamžik ( $< 10 \text{ ms}$ ) požadovaný signál v ovládacím převodu za předpokladu, že se tím nezmenší brzdný účinek“. [2]

### 3.2.3. Dělení brzdové soustavy

- „Podle způsobu použití

- **soustava pro provozní brzdění** (provozní brzda): soubor prvků umožňující řidiči, aby snížil přímo nebo nepřímo rychlost vozidla v průběhu jízdy nebo jej zastavil. Účinek soustavy pro provozní brzdění musí být odstupňovatelný.
- **soustava pro nouzové brzdění** (nouzová brzda): soubor prvků umožňující řidiči, aby snížil přímo nebo nepřímo rychlost vozidla nebo jej zastavil v případě selhání soustavy pro provozní brzdění. Účinek soustavy pro nouzové brzdění musí být odstupňovatelný.
- **soustava pro parkovací brzdění** (parkovací brzda): soubor prvků umožňující řidiči udržet stojící vozidlo mechanickými prostředky i na svahu a zejména v nepřítomnosti řidiče.
- **soustava pro odlehčovací brzdění** (odlehčovací brzda): soubor prvků umožňující řidiči přímo i nepřímo ustálit nebo snížit rychlost vozidla, zejména na dlouhém svahu.
- **soustava pro samočinné brzdění** (samočinná brzda): soubor prvků, které brzdí přípojné vozidlo při jeho úmyslném nebo náhodném odpojení od tažného vozidla“. [6]

- „Podle zdroje energie

- **přímočinná brzdová soustava**
- **polostrojní** – brzdy s posilovačem
- **strojní** – zdroj energie cizí (stlačený vzduch)
- **nájezdová** – zdroj je setrvačná síla

- **Podle druhu ovládání**
  - **nožní**
  - **ruční**
  - **samočinná**
- **Podle uspořádání převodů**
  - **mechanické**
  - **hydraulické, pneumatické**
  - **elektrické**
  - **jednookruhové, víceokruhové**
  - **jednohadicové, vícehadicové“ [7]**
- **„Podle místa působení**
  - **kolové**
  - **převodové**
- **Podle konstrukce**
  - **bubnové**
  - **kotoučové**

Bubnové se dále mohou dělit na: čelist'ové vnitřní

čelist'ové vnější

pásové“ [8]

## **4. Přehled současného stavu**

„Brzdové zařízení tvoří všechny brzdové soustavy montované na vozidla, jejichž funkcí je snížení rychlosti pohybujícího se vozidla nebo jeho zastavení nebo zajištění již stojícího vozidla. Brzdění vozidla se dosahuje zpravidla záměrně vyvolaným třením mezi rotujícími a pevnými částmi motorového vozidla, např. mezi brzdovým kotoučem a brzdovými čelistmi. Tím se pohybová energie mění ve třecích částech v energii tepelnou, kterou je nutno odvádět do ovzduší, aby nedošlo k poškození brzd.

Brzdění se pokládá za odstupňovatelné, pokud řidič může v každém okamžiku zvětšit brzdnou sílu působením na ovládací orgán; brzdná síla se mění ve stejném smyslu, jako působení na ovládací orgán; je možné snadno regulovat dostatečně jemně brzdnou sílu.

Každé vozidlo musí být vybaveno nejméně dvěma na sobě nezávislými brzdovými zařízeními, z nichž jedno umožňuje dostatečně jemné odstupňovatelné ovládání pohybu vozidla a jeho účinné a spolehlivé zastavení (provozní brzdění), druhé zajišťuje udržení stojícího vozidla (parkovací brzdění), brzdová zařízení na vozidlech kategorie M a N musí být taková, aby v případě poruchy soustavy pro provozní brzdění umožňovaly zastavit vozidlo nouzovým brzděním.

### **4.1. Konvekční brzdový systém**

Obsahuje ústrojí pro dodávku energie, ovládací ústrojí, převod, vlastní brzdu a je-li třeba, přídatné ústrojí na tažném vozidle.

- **Ústrojí pro dodávku energie**

Části brzdového zařízení, které dodávají, regulují a je-li potřeba, upravují energii požadovanou pro brzdění. Končí tam, kde začíná převod brzdy, tj. kde různé okruhy brzdových soustav včetně případných okruhů vedlejších spotřebičů jsou jistěny směrem k ústrojí pro dodávku energie, nebo navzájem. To platí i pro přípojně vozidlo.

- **Zdroj energie**

Část ústrojí pro dodávku energie, která je zdrojem energie. Může být umístěna mimo vozidlo (např. v případě vzduchové soustavy přípojně vozidla). Zdrojem energie může být i svalová síla řidiče

- **Ovládací ústrojí**

Části brzdové soustavy, které ji uvádějí do činnosti a ovládají její účinek. Ovládací povel může být přiváděn uvnitř ovládacího ústrojí například mechanickými, pneumatickými, hydraulickými nebo elektrickými prostředky, včetně použití pomocné nebo jiné než svalové energie. Ovládací ústrojí začíná:

- tam, kde působí přímo řidič (nebo jiná osoba);
- tam kde se ovládací signál přivádí do brzdové soustavy, je-li ovládána řidičem nepřímou nebo bez jeho zásahu.

Ovládací ústrojí končí tam, kde se rozvádí energie potřebná pro vytvoření přitlačné síly, nebo tam, kde se předává část této energie pro ovládání této přitlačné síly

Ovládací ústrojí může být uváděno do činnosti:

- přímo, rukou nebo nohou;
- nepřímou řidičem, nebo bez jeho jakéhokoliv zásahu (pouze v případě přípojných vozidel);
- změnou tlaku ve spojovacím potrubí, nebo změnou elektrického proudu ve spojovacím vedení mezi tažným a přípojným vozidlem při činnosti jedné z brzdových soustav taženého vozidla nebo v případě poruchy;
- setrvačností nebo hmotností vozidla nebo jedné z jeho základních částí (například při přibližování nebo oddělení tažného a přípojného vozidla, nebo při poklesu výškové polohy jedné ze základních částí vozidla).

Podle způsobu přenosu energie z ovládacího orgánu (pedál, ruční brzda) nebo z cizího zdroje (strojní brzdové soustavy) na ovládací zařízení brzdových mechanismů lze rozdělit ovládací soustavy na:

- hydraulické
- vzduchové
- kapalinové
- kombinované (hydromechanické, hydropneumatické)

- **Převod brzdy**

Části brzdové soustavy, které přenášejí energii předávanou ovládacím ústrojím. Začíná tam, kde končí ovládací ústrojí, nebo tam, kde končí ústrojí pro dodávku energii. Končí v částech brzdové soustavy, ve kterých se tvoří síly působící proti pohybu nebo proti tendenci k pohybu vozidla. Může být např. mechanický, hydraulický, pneumatický přetlakový nebo podtlakový, elektrický nebo kombinovaný (např. hydromechanický nebo hydropneumatický).

Podle uspořádání převodu brzdy jsou tyto možné okruhy:

- **Jednookruhová brzdová soustava:** brzdová soustava s převodem brzdy, který má jediný okruh. Převod brzdové soustavy má jediný okruh, jestliže v případě poruchy v převodu brzdy energie pro vytvoření přitlačné síly nemůže být tímto převodem přenášena;
- **Víceokruhová brzda:** brzdová soustava s převodem brzdy majícím několik okruhů. Převod brzdové soustavy má několik okruhů, jestliže v případě poruchy v převodu brzdové soustavy energie pro vytvoření přitlačné síly může být přenášena zcela nebo z části tímto převodem.

- **Brzda** (v užším smyslu)

Části brzdové soustavy, ve kterých vznikají síly působící proti pohybu nebo proti tendenci k pohybu vozidla:

- **Třecí brzda:** brzda, u které součásti upevněné k pevné části vozidla jsou přitlačovány přitlačnou silou na jednu nebo více částí upevněných, nebo připojených ke kolu, nebo soupravě kol. Třecí brzda, u které se účinek přitlačné síly zvyšuje třecími silami, se nazývá brzda se servoúčinkem;
- **Bubnová brzda:** třecí brzda, u které se třecí síly vytvářejí mezi částmi upevněnými k pevné části vozidla a vnitřním nebo vnějším povrchem bubnu;
- **Kotoučová brzda:** třecí brzda, u které se třecí síly vytvářejí mezi částmi upevněnými k pevné části vozidla a plochami jednoho nebo několika kotoučů;

- **Západková brzda:** brzda, u které se neotáčející se části vozidla západkovým spojením brání polohu částí upevněných trvale ke kolu nebo soupravě kol. Může se normálně použít jen na stojícím vozidle.

### **Zpomalovač**

Mechanismus, jehož funkcí je snížení nebo ustálení rychlosti vozidla, zejména na dlouhém svahu, nikoli zastavení vozidla. Existují různé typy zpomalovače, z nichž jsou dále uvedené:

- **Spalovací motor jako zpomalovač** (motorová brzda): spalovací motor spojený s hnacími koly vyvolává zpomalovací účinek na pohybující se vozidlo, např. snížením dodávky paliva, škrcením dodávky vzduchu, škrcením výstupu výfukových plynů nebo změnou časování ventilového rozvodu;
- **Elektromotor jako zpomalovač:** elektrický trakční motor spojený s hnacími koly vyvolává zpomalovací účinek na vozidlo, vzniklý např. tím, že motor pracuje jako generátor proudu;
- **Hydrodynamický zpomalovač:** mechanismus, u kterého se zpomalovací účinek dosahuje působením kapaliny na části připojené k jednomu nebo několika kolům nebo součástí převodových ústrojí vozidla, které jsou sama připojena ke kolům;
- **Aerodynamický zpomalovač:** mechanismus, u kterého se zpomalovacího účinku dosahuje zvýšením odporu vzduchu (např. rozvinutím pohybových ploch);
- **Elektromagnetický zpomalovač:** mechanismus, u kterého se zpomalovacího účinku dosahuje působením magnetického pole na otáčející se kovový kotouč (vířivé proudy, hystereze) spojený s jedním nebo několika koly se součástmi převodových ústrojí vozidla, která jsou sama s koly spojena.
- **Přídavné zařízení na tažném vozidle pro přípojný vozidlo:** části brzdové soustavy na tažném vozidle, které dodávají energii do brzdových soustav na přípojném vozidle a ovládají je. Obsahuje části mezi ústrojím pro dodávku energie

na tažném vozidle a spojkovou hlavicí plnicí větve včetně a mezi převodem brzdy tažného vozidla a spojkovou hlavicí ovládací větve včetně.

#### 4.1.1. Dělení z hlediska ústrojí pro dodávku energie

Rozeznáváme následující brzdové soustavy:

- **Přímočinná brzdová soustava**, u které se energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodává pouze svalovou silou řidiče;
- **Brzdová soustava s posilovačem**: brzdová soustava, u které se energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodává svalovou silou řidiče a jedním nebo několika ústrojími pro dodávku energie;
- **Strojní brzdová soustava**: brzdová soustava, u které se energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodává jedním nebo několika ústrojími pro dodávku energie, s vyloučením svalové síly řidiče. (Do této definice však není zahrnuto brzdové ústrojí, u kterého může řidič zvýšit brzdnou sílu svalovou silou působící na toto zařízení v případě, kdy dojde k úplnému selhání dodávky energie);
- **Nájezdová brzdá soustava**: brzdová soustava, u které energie potřebná k vytvoření brzdné síly vzniká přiblížením přívěsu k jeho tažnému vozidlu;
- **Gravitační brzdová soustava**: brzdová soustava, u které energie potřebná k vytvoření brzdné síly se dodává tíhou klesající základní části přívěsu“. [6]

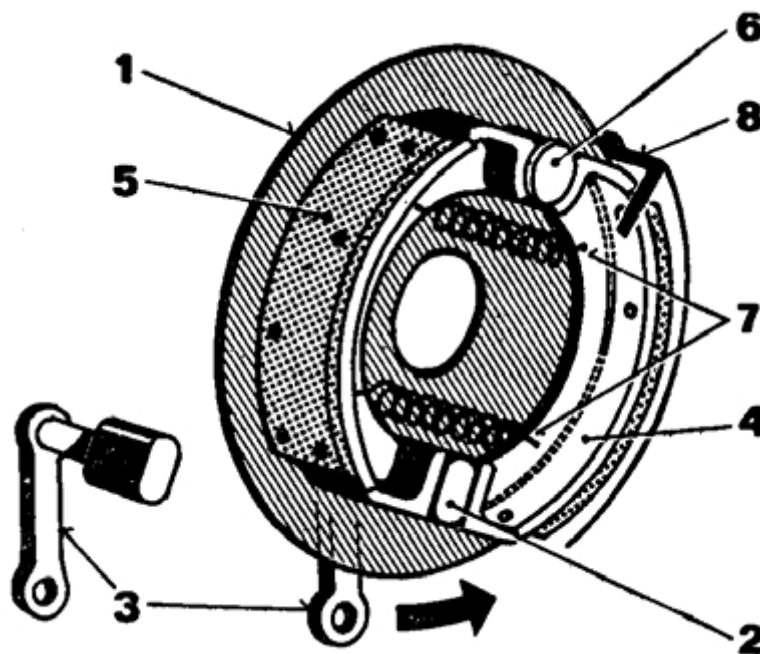
##### 4.1.1.1. Přímočinné soustavy s mechanickým převodem

Přímočinné brzdové soustavy s mechanickým převodem používané pro provozní brzdění patří již k historii a najdeme je ještě u motocyklů a mopedů. Mechanický převod je však používán k ovládání parkovacích brzd a to buď:

- pomocí lanek s bowdenem u parkovacích brzd sloučených v jeden celek s provozní brzdou na kolech zadní nápravy;
- pomocí táhel a pák, kdy parkovací brzda působí na převodové ústrojí. Konstrukčně je řešena jako pásová, kde buben je umístěn za přídatnou převodovkou na vstupní hřídeli první zadní nápravy. Buben je opásán ocelovým

pásem s litinovým segmentovým obložením. Svíráání bubnu ovládá vačkový mechanismus.

#### Popis funkce mechanické brzdy:



*Obr. 2 – mechanická brzda [8]*

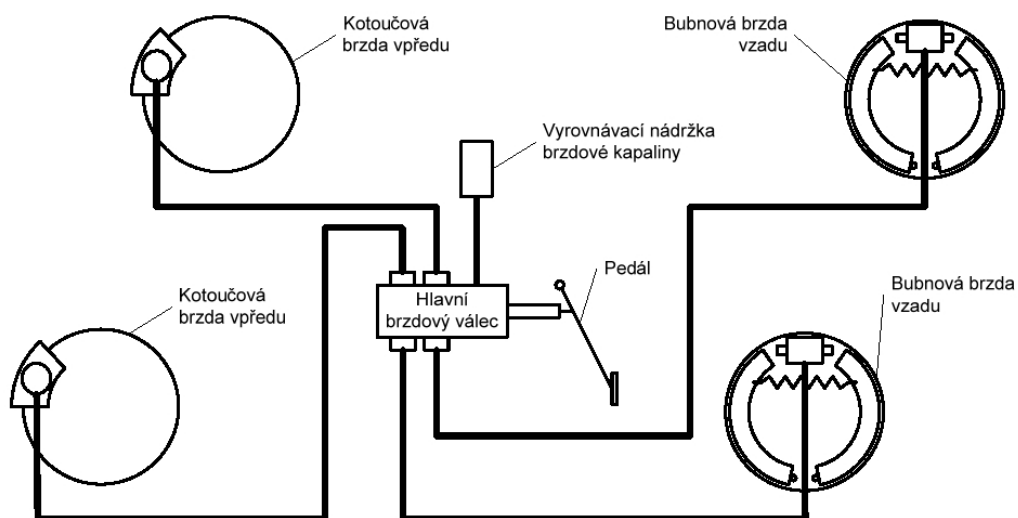
„Síla řidiče se přenáší na páky brzdových klíčů pomocí táhel nebo lanovodů. (viz Obr. 2) Funkce mechanické brzdy je proto velmi jednoduchá. Řidič sešlápne pedál, a tím zatáhne lankem lanovodu za páku klíče brzdy (3). Klíč brzdy rozevře čelisti (4), které se svým obložením (5) přiblíží brzdovému bubnu (8), začnou se o něj třít, a buď se začne zpomalovat. Protože je buben spojen s vozidlovým kolem, začne se snižovat rychlost vozidla“. [8]

Nevýhodou těchto soustav s mechanickým převodem je, že vlivem nestejněměrného opotřebení obložení a pohyblivých spojů mechanismu dochází i k rozdílným vůlím a tím i k nestejným brzdovým silám na jednotlivých kolech (je porušena směrová stabilita při brzdění).



#### 4.1.1.2. Přímočinné soustavy s kapalinovým převodem

„Přímočinné brzdové soustavy s mechanickým převodem (kapalinové brzdy) se dnes používají u většiny osobních automobilů ( $M_1$ ) jako provozní brzdy (obr. 3). Síla řidiče se převádí jednoduchým hydraulickým převodem“. [8]



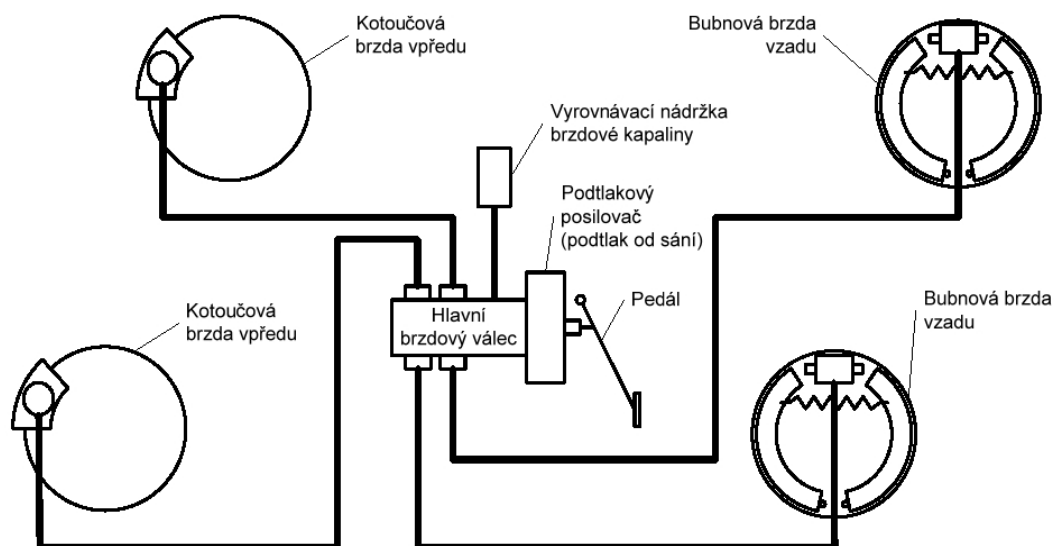
*Obr. 3 – přímočinná brzdová soustava, kapalinová, dvouokruhová s diagonálním propojením [8]*

„Pohyb pedálu brzdy působící na píst hlavního válce brzdy, který vytlačuje brzdovou kapalinu z válce a tlačí ji potrubím do brzdových válečků v kolech u bubnových brzd, nebo do třmenů brzd u brzd kotoučových“. [8]

#### 4.1.1.3. Přímočinné soustavy s kapalinovým převodem s posilovačem

„U dnešních osobních automobilů se používá výhradně dvouokruhových brzdových soustav s kapalinovým převodem, které jsou již v převážné míře standardně vybaveny posilovačem.

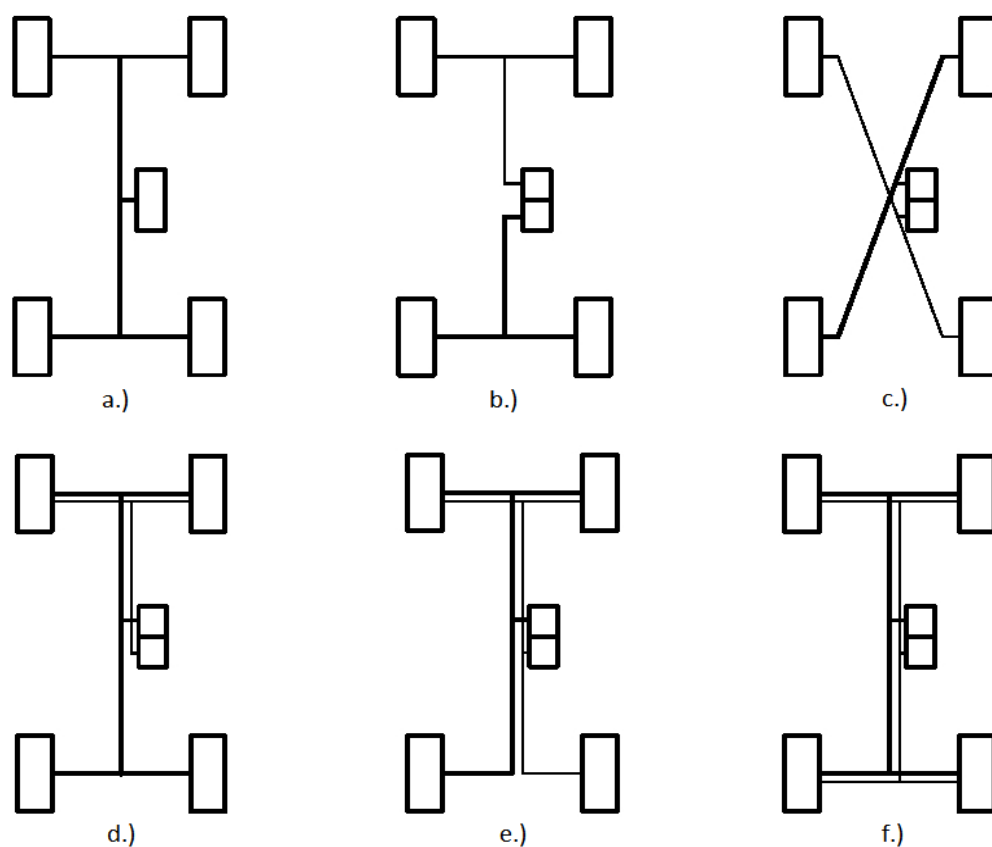
Brzdy s kapalinovým převodem jsou však používány i ve stavbě nákladních automobilů kategorie  $N_1$  a  $N_2$  (resp.  $M_2$ ), vždy však ve spojení s posilovačem“. [8]



**Obr. 4** – přímočinná brzdová soustava, kapalinová, dvouokruhová s diagonálním propojením a podtlakovým posilovačem brzdného účinku [8]

„Kapalinová brzdová soustava, která se dnes používá u všech soudobých osobních automobilů, se skládá: z hlavního brzdového válce, podtlakového posilovače, vyrovnávací nádržky na brzdovou kapalinu s příslušným spojovacím potrubím. Hydraulická část soustavy je rozdělena do dvou samostatných okruhů ovládaných řidičem společným ovládacím orgánem (brzdovým pedálem). Při normální činnosti jsou brzděna všechna kola vozidla, při poruše v kterémkoliv okruhu je neporušeným okruhem brzděn určitý počet kol. Podle dnešních zákonných předpisů musí mít osobní vozidla nejméně dvouokruhovou ovládací soustavu, která splňuje požadavek nouzového brzdění. Příklad takové brzdové soustavy je na obr. 4“. [8]

### Zapojení dvouokruhových ovládacích soustav:



**Obr. 5** – schéma zapojení dvouokruhových brzdových soustav [8]

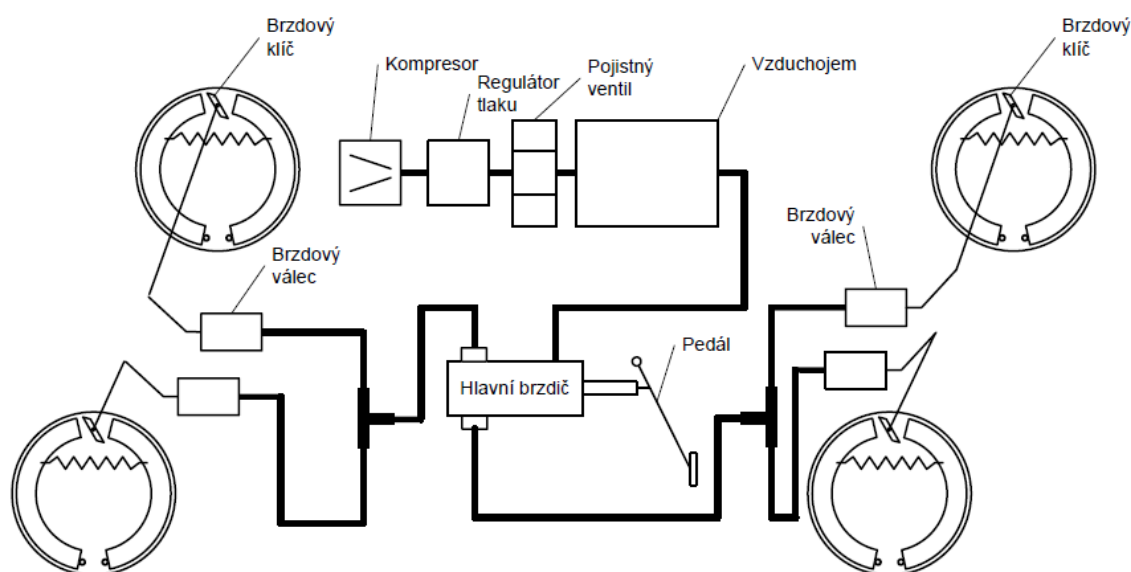
- a) „jednookruhová soustava
- b) standardní zapojení **T-T** – v každém okruhu je brzděna jedna náprava
- c) diagonální zapojení **X** – v každém okruhu je brzděno jedno přední a diagonálně proti ležící zadní kolo
- d) zapojení **H-T** – jeden okruh ovládá přední nápravu a zadní nápravu, druhý okruh ovládá jen přední nápravu
- e) zapojení **L-L** – každý okruh ovládá přední nápravu a jedno zadní kolo
- f) zapojení **H-H** – každý okruh ovládá přední nápravu a zadní nápravu“ [8]

**Tab. 1** – vlastnosti dvouokruhových brzdných soustav [9]

Označení brzdy	Rozdělení brzdných sil vzhledem k podélné ose	Brzdný účinek jednotlivých okruhů
T-T	Souměrné	Různý
X	Nesouměrné	Stejný
H-T	Souměrné	Různý
L-L	Nesouměrné	Stejný
H-H	Souměrné	Stejný

#### 4.1.1.4. Strojní brzda (pneumatická)

„Pro těžké nákladní automobily, autobusy a přípojná vozidla, nestačí ovládací (nožní) síla řidiče k vyvolání potřebného brzdového tlaku. Pro tato vozidla se používá tzv. strojní brzdová soustava, u které se energie potřebná k vytvoření brzdné síly dodává určitým zdrojem energie, s vyloučením svalové síly řidiče. U vzduchové brzdové soustavy je zdrojem energie kompresor. Řidič nohou ovládá tzv. hlavní brzdič, který rozvádí tlakový vzduch do brzdových válců“. [8]



**Obr. 6** – zjednodušené schéma vzduchové brzdy nákladních automobilů [8]

#### 4.1.1.5. Strojní brzda (pneumaticko-hydraulická)

„Vzducho-kapalinové brzdy se používají u automobilů kategorie N<sub>2</sub> a u některých typů autobusů. Využívají vzduchového ústrojí stejného jako brzdy pneumatické, na vlastních nápravách jsou však vzducho-kapalinové převaděče, kde se mění typ pracovního média z plynu na kapalinu. Rozvod tlakové kapaliny pokračuje z převaděčů do brzdových válečků na vlastních kolových brzdách“. [8]

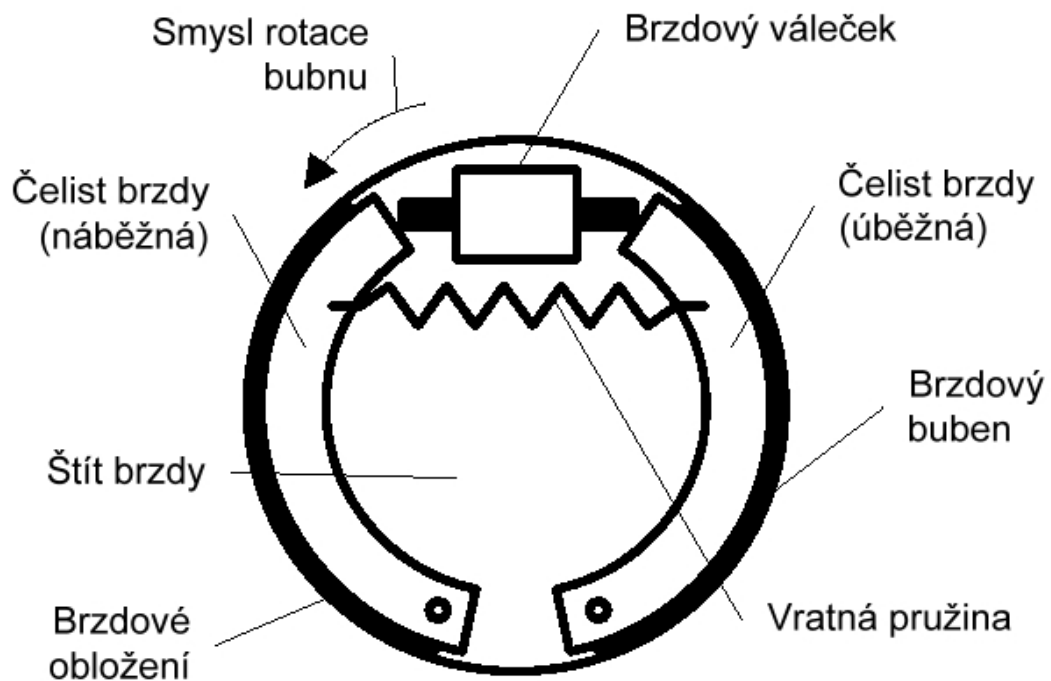
#### 4.2. Konstrukce brzd

„U silničních motorových vozidel se používají třecí brzdy, ve kterých vzniká brzdný moment třením mezi otáčející se částí a pevnou částí, čímž se pohybová energie vozidla mění v teplo. Brzda je nejčastěji umístěna přímo v kole a otáčející se část brzdy je spojena s nábojem kola. Hovoříme tedy o tzv. **kolové brzdě**. U hnacích náprav se někdy umísťuje brzda na skříň rozvodovky (otočná část brzdy je na hnacím hřídeli). Toto provedení slouží ke snížení hmotnosti neodpružených částí. K brzdění vozidel se používají dva typy třecích brzd: **bubnové** a **kotoučové**. Některé nákladní automobily jsou vybaveny tzv. **převodovou brzdou**, která je umístěna v převodovém ústrojí a slouží pro parkovací brzdění. **Pásové brzdy** se používají často v automatických převodovkách nebo u pásových vozidel k brzdění pásů při zatačení.

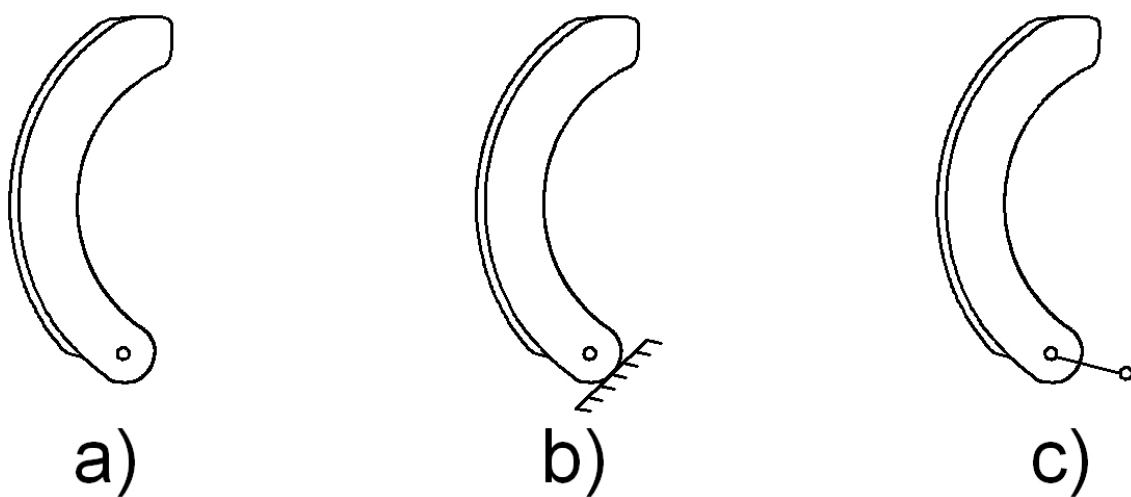
##### 4.2.1. Bubnové brzdy

Schematické znázornění bubnové brzdy je na obr. 7. Otáčející se částí je buben, jehož vnitřní válcový povrch tvoří třecí plochu. Při brzdění jsou na tuto plochu přitlačovány brzdové čelisti s třecím obložením, které jsou umístěny ve vnitřním prostoru bubnu. Radiální přitlačení čelistí na třecí plochu zabezpečuje tzv. ovládací řízení, které působí na jednom konci každé čelisti. Podle způsobu uložení druhého konce rozeznáváme čelisti na:

- **otočné**, které jsou otočně uloženy na čepu, mají tedy pevný otočný bod a 1° volnosti pohybu;
- **volné**, které jsou opřeny o opěrnou plochu (kolmou nebo šikmou) a nazývají se plovoucí čelisti; nebo uložené pomocí výkyvné vzpěry a čepu a nazývají se nekotvené čelisti; nemají tedy pevný otočný bod a mají 2° volnosti pohybu“. [6]



**Obr. 7** – schéma bubnové brzdy [8]

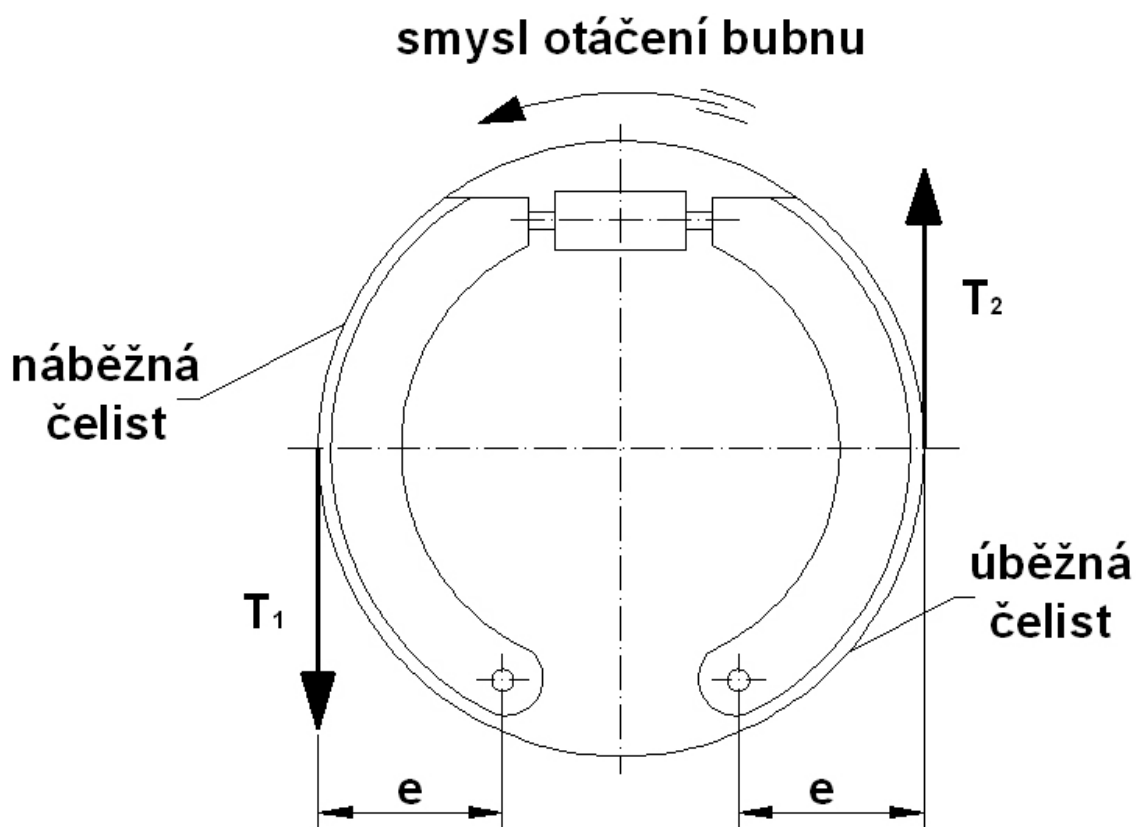


**Obr. 8** – Uložení čelistí: a) otočná čelist b) volná plovoucí c) volná nekotvená čelist [8]

„Podle smyslu momentu obvodové třecí síly vzhledem k uložení rozlišujeme čelisti (obr. 9):

- náběžnou, u které moment třecí síly  $T_1 \cdot e$  zvyšuje její přitlak na třecí plochu bubnu (tzn. posilující účinek náběžné čelisti)
- úběžnou, u které tento moment zmešluje její přitlak na třecí plochu

Zpětný pohyb čelistí do základní polohy v odbrzděném stavu zabezpečují vratné pružiny. Čelisti brzdy s ovládacím zařízením jsou uloženy na štítu brzdy a tento celek tvoří její pevnou část“. [6]



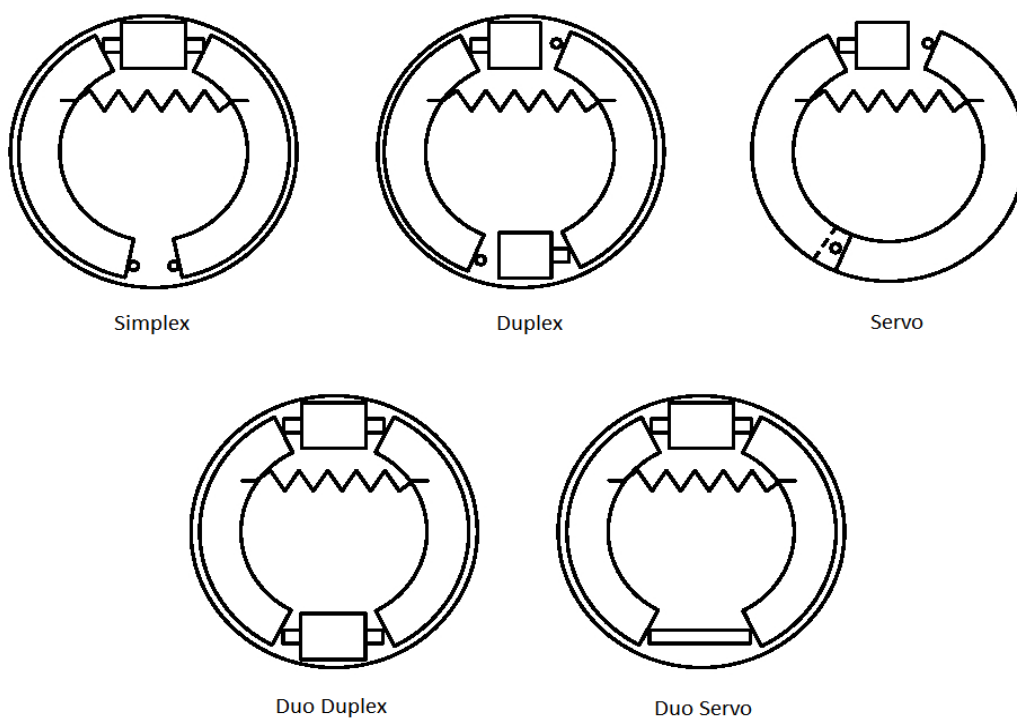
**Obr. 9** – Druhy čelistí podle smyslu působení třecího momentu; náběžná čelist, úběžná čelist [8]

#### 4.2.1.1. Druhy bubnových brzd

„Podle způsobu uložení a ovládání čelistí rozeznáváme tři základní typy bubnových brzd (obr. 10):

- a) **jednoduchá brzda** (simplex) – má jednu náběžnou a jednu úběžnou čelist; k přitlačování obou čelistí slouží jedno společné ovládací zařízení;
- b) **dvojnáběžná brzda** (duplex) má obě čelisti náběžné (při jízdě dopředu); k přitlačování každé čelisti slouží samostatné ovládací zařízení;
- c) **brzda se spřaženými čelistmi** (servo) – reakce uložení primární (náběžné) čelisti se přenáší rozpěrným čepem na sekundární čelist, čímž na ní vznikne přitlačná síla větší než ovládací síla a tato čelist pracuje také jako náběžná s větším účinkem v porovnání s primární čelistí; k přitlačování obou čelistí slouží jedno ovládací zařízení.

Protože brzdňý moment dvojnáběžné brzdy při jízdě dozadu je asi třikrát menší v porovnání s jízdou dopředu (při couvání pracují obě čelisti jako úběžné), používají se někdy dvojnáběžná brzda obousměrná (duo-duplex). Ze stejných důvodů se někdy používá také obousměrná brzda se spřaženými čelistmi (duo-servo)“. [6]

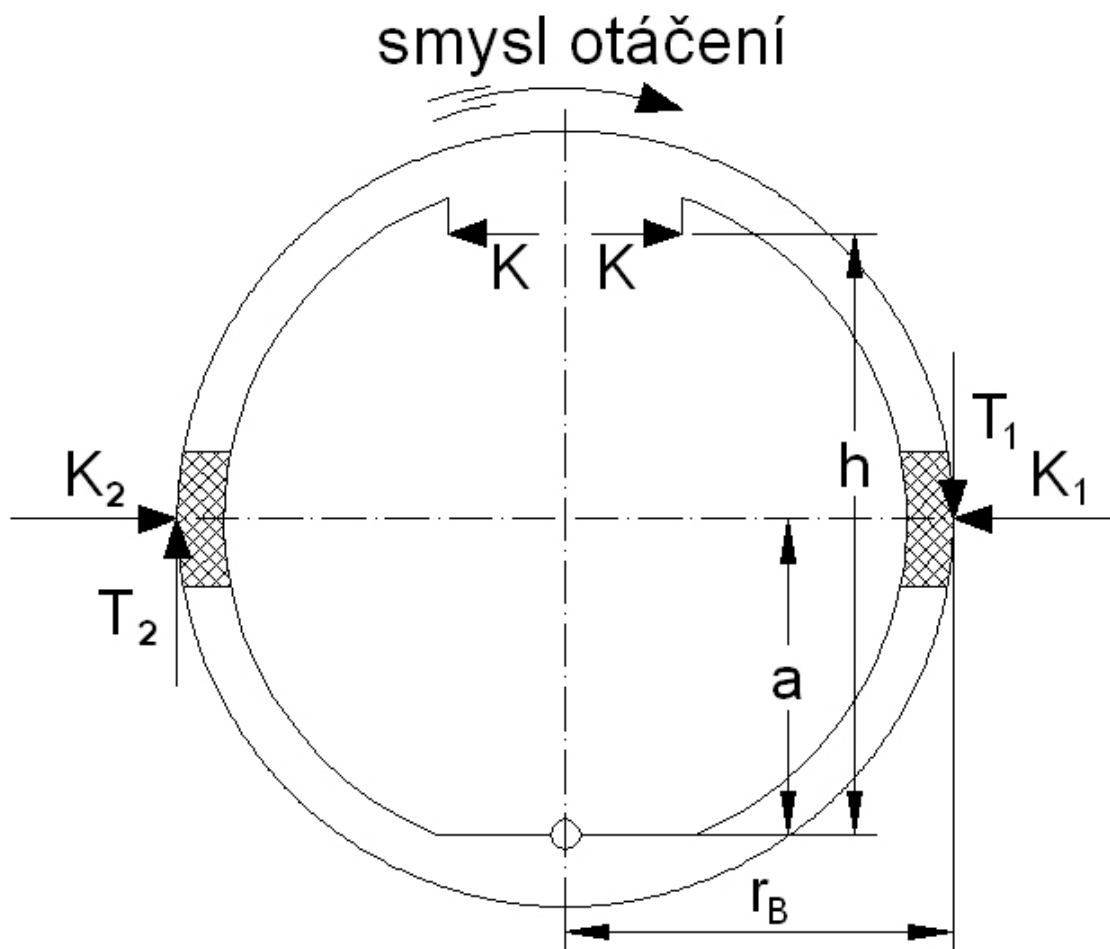


**Obr. 10** – druhy bubnových brzd [8]



#### 4.2.1.2. Určení třecího momentu bubnové brzdy

„Třecí moment bubnové brzdy lze zjednodušeně určit podle obr. 11. Zjednodušení spočívá v tom, že výsledná normální (radiální) síla mezi čelistí a bubnem je uvažována uprostřed čelisti a výsledná síla působí kolmo k ní na poloměru bubnu  $r_B$ “. [6]



**Obr. 11** – schéma pro zjednodušený výpočet brzdného momentu jednoduché bubnové brzdy (simplex) s náběžnou a úběžnou čelistí [8]

„Z Obr. 11 plyne:

$$K \cdot h + T_1 \cdot r_B - N_1 \cdot a = 0 \quad (1)$$

$$K \cdot h + T_2 \cdot r_B - N_2 \cdot a = 0 \quad (2)$$

Pro obvodové třecí síly platí  $T_i = N_i \cdot \mu$  ( $i=1, 2$ ), kde  $\mu$  je součinitel tření mezi čelistí a bubnem. Dosadíme-li do rov. (1) a (2)  $N_i = T_i / \mu$  ( $i=1, 2$ ), pak obvodové třecí síly jsou:

$$T_1 = \frac{\mu \cdot h}{a - \mu \cdot r_B} \cdot K, \quad T_2 = \frac{\mu \cdot h}{a - \mu \cdot r_B} \cdot K.$$

Brzdňý moment je tedy

$$M_B = (T_1 + T_2) \cdot r_B = \mu \cdot h \cdot \left( \frac{1}{\frac{a}{r_B} - \mu} + \frac{1}{\frac{a}{r_B} + \mu} \right) \cdot K, \quad (3)$$

Rovnici (3) můžeme psát ve tvaru

$$M_B = c^* \cdot r_B \cdot K, \quad (4)$$

kde  $c^*$  je tzv. vnitřní převod brzdy

$$c^* = \frac{\sum T_i}{K} = \frac{\mu \cdot h}{r_B} \cdot \left( \frac{1}{\frac{a}{r_B} - \mu} + \frac{1}{\frac{a}{r_B} + \mu} \right) = \frac{2 \cdot \frac{a \cdot h}{r_B^2}}{\left( \frac{a}{r_B} \right)^2 - \mu^2}, \quad (5)$$

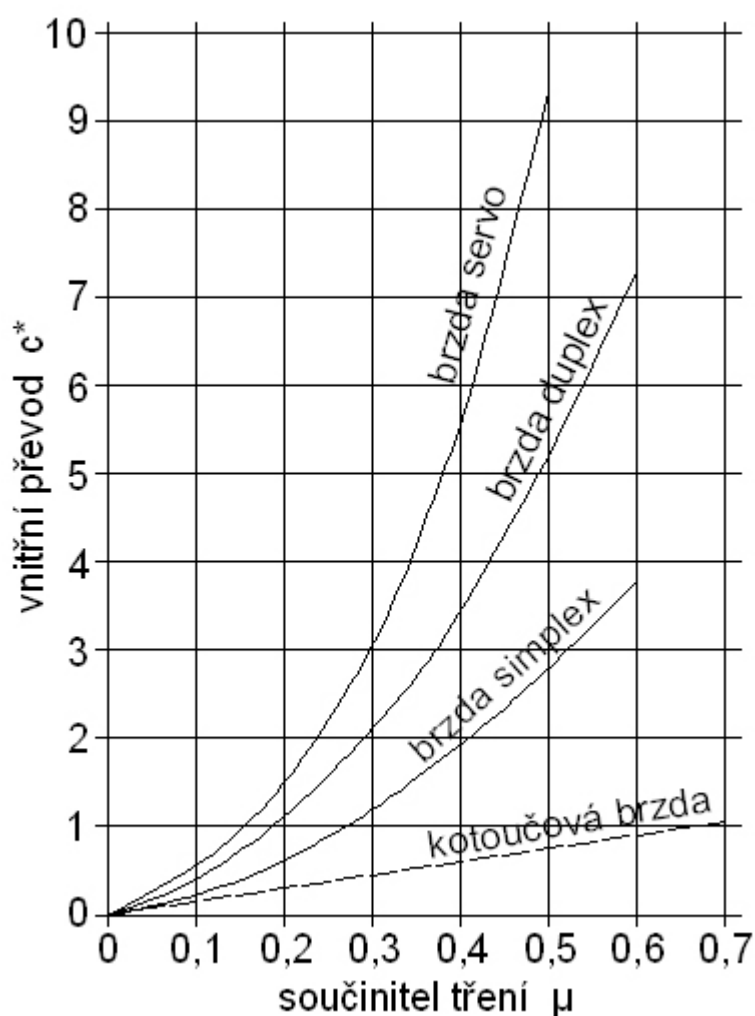
jestliže  $a/r_B = \mu$  pak  $c^* \rightarrow \infty$  a brzda je samosvorná.

Výpočet vnitřního převodu brzdy  $c^*$  pro složitější bubnové brzdy není obtížný ale je značně rozsáhlý. Závislost vnitřního převodu na součiniteli tření se nazývá charakteristika brzdy a její tvar pro tři základní typy bubnových brzd na obr. 8. Jednoduchá brzda má nejmenší vnitřní převod, nejméně závislý na velikosti součinitele tření; brzda se spřaženými čelistmi největší, nejvíce závislý.

Použití brzd s velkým vnitřním převodem by se mohlo zdát výhodné z důvodu dosažení velkého brzdňého momentu při malé ovládací síle, v minulosti se proto tyto brzdy často používaly. Při malé změně součinitele tření dochází však u takové brzdy k velké změně třecího momentu, vzhledem k její třecí citlivosti (diferenciální podíl

$dc^*/d\mu$  je měřítkem citlivosti brzdy; čím je brzda více citlivá na změnu součinitele tření, tím má menší stabilitu brzdného účinku).

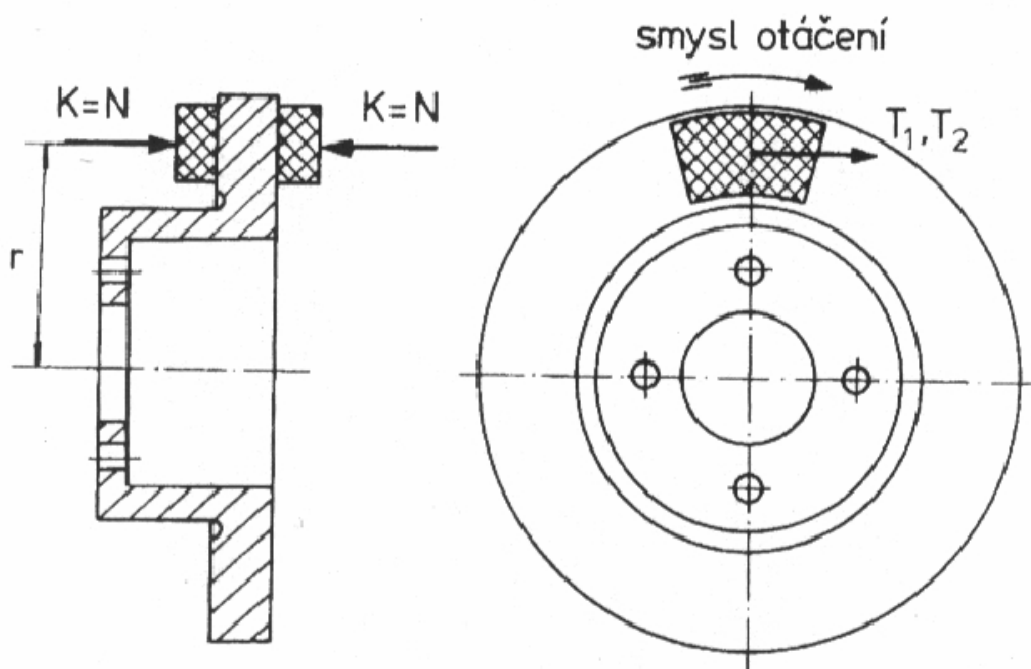
Při dlouhém nebo opakovaném intenzivním brzdění klesá u bubnových brzd brzdný účinek (slábnutí brzdy „fading“), a to následkem poklesu součinitele tření mezi obložním a bubnem při vysokých teplotách, příp. následkem tepelných deformací čelisti a bubnu. Podobný úkaz někdy může nastat při brzdění při vysoké rychlosti následkem poklesu součinitele tření při vyšších hodnotách třecí rychlosti“. [6]



**Obr. 11** – součinitel tření  $\mu$  [6]

#### 4.2.2. Kotoučové brzdy

„Kotoučové brzdy se v současnosti nejčastěji používají jako přední, nebo přední a zadní brzdy osobních automobilů (obr. 12). Za jejich největší přednost se považuje stálost brzdného účinku, jež je dosažena lepším odvodem tepla z kotouče“. [6]



**Obr. 12** – Kotoučová brzda [8]

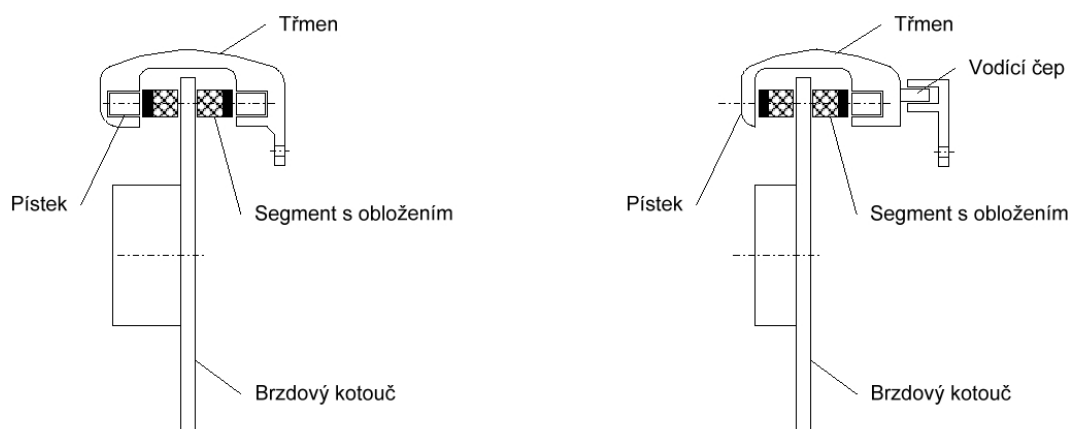
„Konstrukční provedení kotoučové brzdy se liší v realizaci jejího třmenu (obr. 13). Z tohoto pohledu rozlišujeme kotoučové brzdy:

- **S pevným třmenem**
- **S plovoucím třmenem**

Výsledkem řešení s plovoucím třmenem je úspora místa a menší zális vlastního kotouče“. [8]

„U kotoučové brzdy s pevným třmenem jsou hydraulické válce uspořádány proti sobě po obou stranách kotouče a těleso třmene je nepohyblivé, počet válců bývá 2 (stejného průměru se společnou osou), 4 (stejného průměru, každá dvojice má společnou osu), nebo 3 (jeden válec většího průměru na jedné straně a dva válce

menšího průměru na druhé straně, přičemž součet ploch pístu na každé straně kotouče je stejný“. [6]



**Obr. 13** – kotoučová brzda s pevným a plovoucím (volným) třmenem [8]

#### 4.2.2.1. Určení třecího momentu kotoučové brzdy

„Schematické znázornění kotoučové brzdy je na obr. 12. otáčející se částí je v tomto případě kotouč, jehož boky tvoří třecí plochy. Při brzdění jsou pomocí ovládacího zařízení přitlačovány tyto třecí plochy desky s třecím obložením. Z obr. 12 tedy plyne třecí moment

$$M_B = (T_1 + T_2) \cdot r, \quad (6)$$

kde  $r$  je střední poloměr třecího obložení (poloměr těžiště plochy obložení). Ovládací síla  $K$  je v tomto případě stejně velká jako přitlačná síla obložení  $N$ . Třecí síly  $T_1$  a  $T_2$  jsou stejně velké;  $T_i = N \cdot \mu$ , tzn.

$$M_B = 2, \quad (7)$$

Pro vnitřní převod kotoučové brzdy plyne

$$c^* = \frac{\sum T_i}{K} = 2, \quad (8)$$

Závislost  $c^* = f(\mu)$  je pro kotoučovou brzdu lineární (obr. 11), tzn. třecí citlivost  $dc^*/d\mu = konst.$  Z tohoto důvodu má kotoučová brzda velmi dobrou stabilitu brzdného účinku, neboť má malou citlivost na změnu součinitele tření“. [6]

#### 4.2.3. Brzdové obložení

„U bubnových brzd je brzdové obložení přínýtováno nebo přilepeno na brzdové čelisti, u kotoučových brzd je přilepeno na kovové nosné segmenty.

Na třecí obložení jsou kladeny následující požadavky:

- velká tepelná a mechanická pevnost;
- vysoká životnost;
- stálý součinitel tření i při vysokých teplotách a kluzných rychlostech (omezení „slábnutí“ brzd – fandingu);
- necitlivost vůči vodě a nečistotám;
- odolnost proti vytváření sklovité povrchové vrstvičky při vysokém tepelném zatížení

Většinou se používá obložení z **organických materiálů**, pro obzvláště vysoké namáhání se vyrábí obložení ze **spékaných práškových kovů**.

U organických brzdových obložení se používají práškové nebo vláknité třecí materiály z minerálních, kovových, keramických nebo organických látek, které jsou vázány organickými pojivy (např. syntetická pryskyřice nebo kaučuk) Dříve používaný azbest je zdraví škodlivý a dnes je většinou nahrazován jinými materiály, např. uhlíkovými, ocelovými nebo skleněnými vlákny.

Brzdové obložení má součinitel tření větší než 0,4 a je odolné do teploty asi 800°C.

#### 4.2.4. Brzdová kapalina

Požadavky na brzdovou kapalinu (podrobněji jsou stanoveny v amerických předpisech DOT 3, DOT 4, DOT 5):

- co nejmenší stlačitelnost;
- vysoký bod varu (např. 260°C), stálost při vysoké teplotě a nízký bod tuhnutí (např. -60°C);
- odolnost proti stárnutí;
- nízká a konstantní viskozita;
- mísitelnost s ostatními brzdovými kapalinami.

Brzdová kapalina musí být chemicky neutrální, nesmí působit korozivně na kovové části brzdového systému a chemicky na pryžová těsnění.

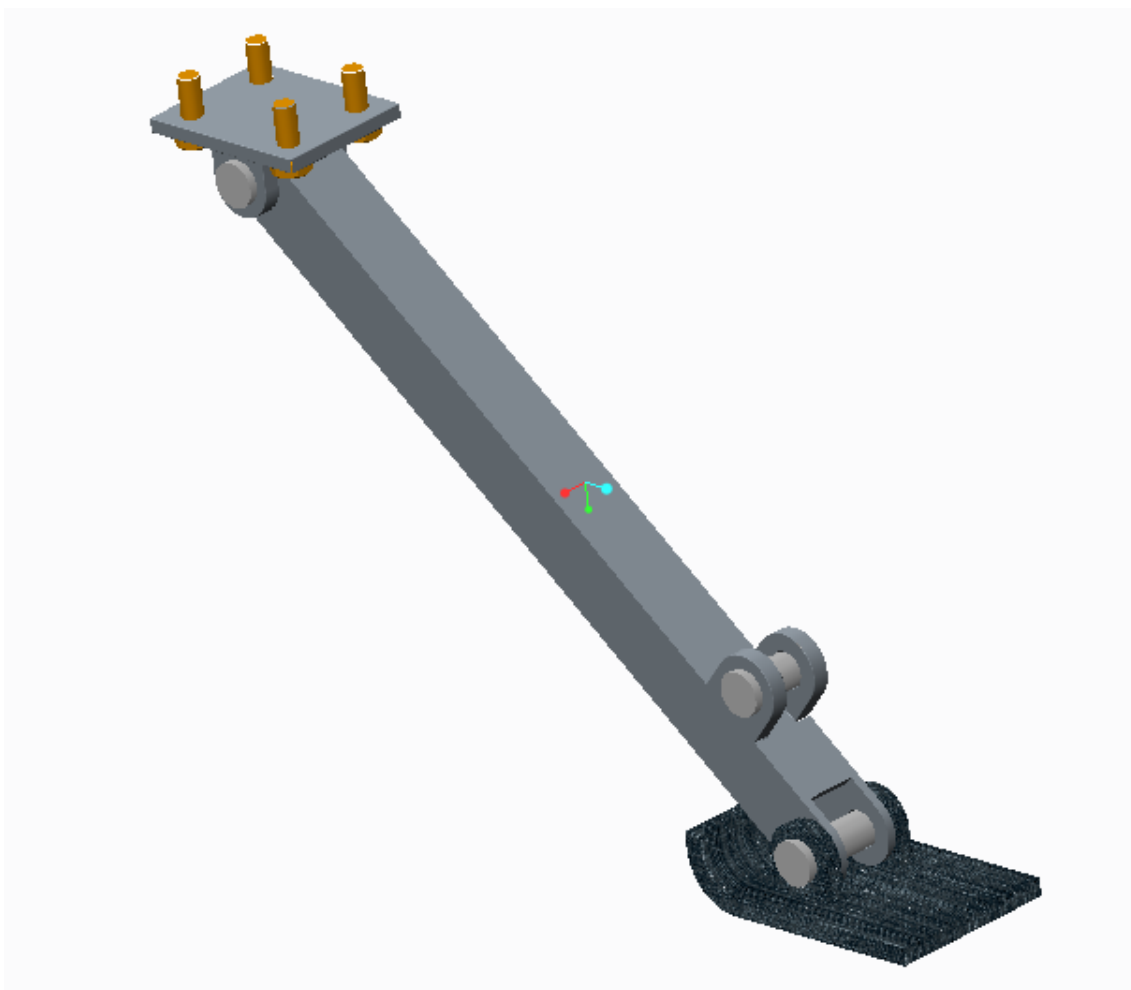
Obvykle jsou brzdové kapaliny vyrobeny na bázi alkoholu. Nejčastěji je to glykol a glykoléterové směsi se speciálními přísadami.

V zásadě splňují požadavky na ně kladené a v mnoha případech je i překračují. Jsou však silně hygroskopické (pohlcují vzdušnou vlhkost) a při delším působení mohou narušovat lakované povrchy. Vlhkost se do brzdové kapaliny dostává odvětrávacími otvory ve vyrovnávací nádobce a brzdách. Pohlcováním vlhkosti se vlastnosti kapaliny zhoršují, protože již při nadměrně nízké teplotě se v ní mohou tvořit bublinky vodních par což může vést i k selhání brzd. Bod varu brzdové kapaliny, která obsahuje 3,5% vody, je asi 140°C až 160°C. Brzdová kapalina obsahuje po dvou letech provozu asi 3% vody, proto je ji nutno pravidelně měnit, doporučená doba je asi 1 rok.

Množství brzdové kapaliny v soustavě je třeba pravidelně kontrolovat, v případě poklesu objemu pod minimální hodnotu je nutno ji doplnit používaným druhem.

Brzdová kapalina je vysoce toxická, proto nesmí být nikdy skladována v lahvích od nápojů. Při požití je nutno ihned vyhledat lékařskou pomoc, při vniknutí do očí je třeba oči ihned vymýt vodou a raději i v tomto případě vyhledat lékaře“. [10]

## 5. Nouzová brzda



***Obr. 14** – základní konstrukční řešení nouzové brzdy*

### 5.1. Návrh rozměrů a vlastní řešení

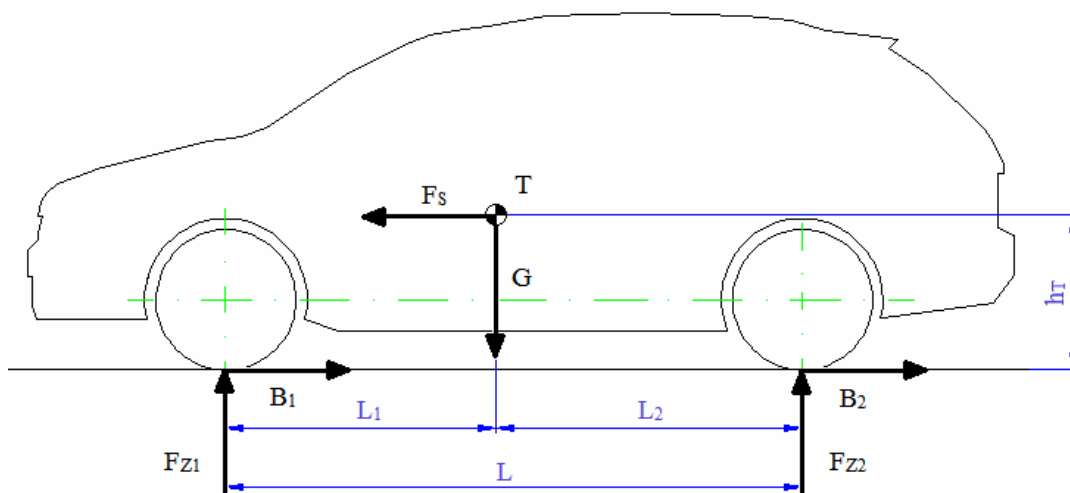
Rozměry, vzhled a materiál brzdné soustavy jsem zvolil vlastním odhadem. Uchycení nouzové brzdy jsem zvolil na rámu podvozku, mezi přední a zadní nápravou u osobního automobilu Škoda-Fabia Combi. Rozměry brzdné soustavy jsou uvedeny v PC programu Creo Parametric, kde je vypracován 3D model. Rozměry umístění jsou zobrazeny na obr. č.17.

### 5.2. Výpočet zatížení náprav u osobního automobilu – provozní brzdění

V první části počítám statický výpočet pro provozní brzdění, kde počítám momenty k jednotlivým bodům dotyku kola s vozovkou, ze kterých plynou normálové síly v těchto bodech, následuje dynamický výpočet, ze kterého vypočítám jednotlivé



normálové síly, brzdné síly a změnu zatížení náprav, v poslední části tohoto bodu se zabývám brzdnými drahami.



**Obr. 15** – zobrazení tíhových sil na nápravách a jejich brzdné síly

### 5.2.1. Statický výpočet

**Tab. 2** – zjištěné hodnoty pro provozní brzdění

L [mm]	2462
$L_1$ [mm]	1152
$L_2$ [mm]	1310
$h_T$ [mm]	662
m [kg]	1150
G [N]	11281,5
g [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	9,81
b [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	7,848
$\mu_v$	0,8

L – délka rozvoru

$L_1$  – délka přední nápravy od těžiště

$L_2$  – délka zadní nápravy od těžiště

$h_T$  – výška těžiště

m – hmotnost automobilu

G – tíha automobilu

g – tíhové zrychlení

b – záporné zrychlení (brzdné zpomalení)

$\mu_v$  – součinitel adheze pneumatiky k vozovce při valení

Z obr. 15 plyne momentová rovnice:

$$\Sigma M_1 = 0;$$

$$F_{z2} \cdot L - G \cdot L_1 = 0$$

$$F_{z2} = \frac{G \cdot L_1}{L} = \frac{11281,5 \cdot 1152}{2462} = \underline{\underline{5278,8 N}}$$

$$\Sigma M_2 = 0;$$

$$F_{z1} \cdot L - G \cdot L_2 = 0$$

$$F_{z1} = \frac{G \cdot L_2}{L} = \frac{11281,5 \cdot 1310}{2462} = \underline{\underline{6002,7 N}}$$

### 5.2.2. Dynamický výpočet

$$\Sigma M_1 = 0;$$

$$F_{z2} \cdot L + F_s \cdot h_T - G \cdot L_1 = 0$$

$$F_{z2} = \frac{G \cdot L_1 - m \cdot b \cdot h_T}{L} = \frac{G \cdot L_1 - m \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L}$$

$$F_{z2} = \frac{G \cdot L_1 - \frac{G}{g} \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L} = \frac{G \cdot (L_1 - \mu \cdot h_T)}{L}$$

$$F_{z2} = \frac{11281,5 \cdot (1152 - 0,8 \cdot 662)}{2462} = \underline{\underline{2852 N}}$$

$$\Sigma M_2 = 0;$$

$$F_{z1} \cdot L - F_s \cdot h_T - G \cdot L_2 = 0$$

$$F_{z1} = \frac{m \cdot b \cdot h_T + G \cdot L_2}{L} = \frac{m \cdot \mu \cdot g \cdot h_T + G \cdot L_2}{L}$$

$$F_{z1} = \frac{\frac{G}{g} \cdot \mu \cdot g \cdot h_T + G \cdot L_2}{L} = \frac{G \cdot (\mu \cdot h_T + L_2)}{L}$$

$$F_{z1} = \frac{11281,5 \cdot (0,8 \cdot 662 + 1310)}{2462} = \underline{\underline{8429,5 N}}$$

z nichž plyne rozdíl sil na nápravách

$$\Delta F_{z1} = {}^D F_{z1} - {}^S F_{z1} = 8429,5 - 6002,7 = \underline{\underline{2426,8N}}$$

$$\Delta F_{z2} = {}^D F_{z2} - {}^S F_{z2} = 2852 - 5278,7 = \underline{\underline{-2426,8N}}$$

a rozdíl hmotnosti na nápravách

$$\Delta m_1 = \frac{\Delta F_{z1}}{g} = \frac{2426,8}{9,81} = \underline{\underline{247,4N}}$$

$$\Delta m_2 = \frac{\Delta F_{z2}}{g} = \frac{-2426,8}{9,81} = \underline{\underline{-247,4N}}$$

brzdná síla je tedy

$$B_1 = \mu \cdot F_{z1} = 0,8 \cdot 8429,5 = \underline{\underline{6743,6N}}$$

$$B_2 = \mu \cdot F_{z2} = 0,8 \cdot 2852 = \underline{\underline{2281,6N}}$$

### 5.2.3. Výpočet brzdných drah

„Provozní brzdění musí umožňovat ovládání pohybu vozidla a jeho zastavení bezpečným, rychlým a účinným způsobem, bez ohledu na rychlost, zatížení a velikost sklonu stoupání nebo klesání svahu. Jeho účinek musí být odstupňovatelný. Řidič musí být schopen vykonat toto brzdění ze svého místa sedění, aniž by sejmul ruce z ovládacího orgánu řízení“. [11]

**Tab. 3** – požadavky na brzdný účinek pro provozní jsou stanoveny podle EHK - R13, ES 71/320 a vyhlášky MD ČR [11]

Kategorie vozidel podle EHK - R13 (druh, max. hmotnost m)		Osobní automobily M <sub>1</sub>
Provozní brzdění	Počáteční rychlost v <sub>0</sub>	80 km/h
	Max. brzdná dráha	0,1·v <sub>0</sub> +v <sub>0</sub> <sup>2</sup> /150 s=50,7m
	Max. nožní síla	500N
	Max. prodleva t <sub>1</sub>	0,36s
	Zpomalení a	5,8 m/s <sup>2</sup>

**Tab. 4** – brzdné dráhy v závislosti na rychlosti pro provozní brzdění

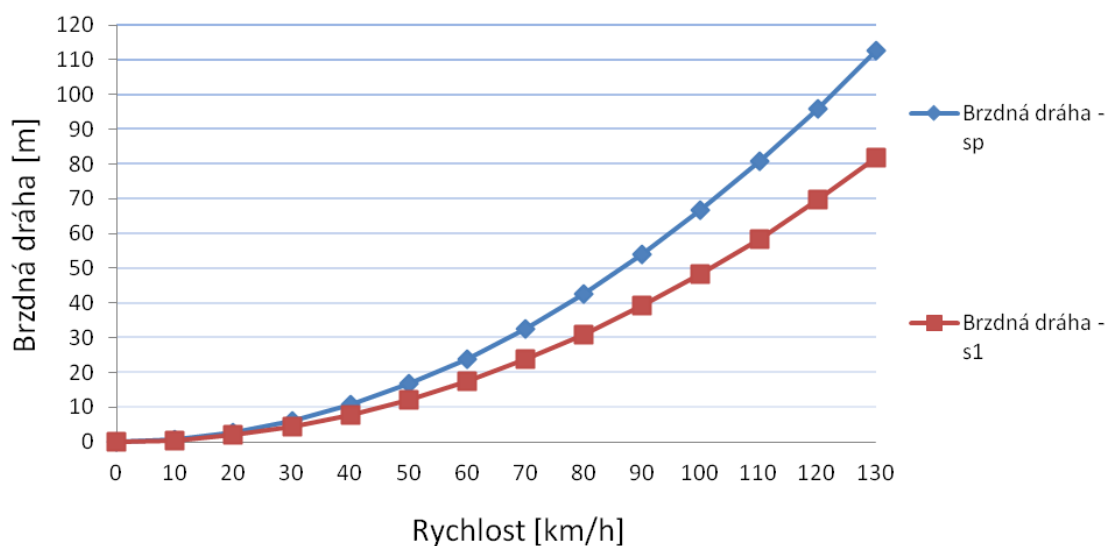
1		s <sub>p</sub>		s <sub>1</sub>		Δs=s <sub>1</sub> -s <sub>p</sub>
m [kg]	1150	V [km/h]	s [m]	V [km/h]	s [m]	Δs [m]
g [kg·m <sup>-2</sup> ]	9,81	0	0,00	0	0,00	0,00
G [N]	11281,5	10	0,67	10	0,48	-0,18
f	0,013	20	2,67	20	1,93	-0,73
μ	0,8	30	6,00	30	4,35	-1,65
b [m·s <sup>-2</sup> ]	7,848	40	10,67	40	7,74	-2,93
		50	16,67	50	12,09	-4,57
		60	24,00	60	17,41	-6,59
		70	32,67	70	23,70	-8,96
		80	42,67	80	30,96	-11,71
		90	54,00	90	39,18	-14,82
		100	66,67	100	48,37	-18,29
		110	80,67	110	58,53	-22,14
		120	96,00	120	69,66	-26,34
		130	112,67	130	81,75	-30,92

s <sub>p</sub> - provozní brzdění
s=V <sup>2</sup> /150

s<sub>p</sub> – maximální brzdná dráha daná předpisy EHK (pro provozní brzdění)

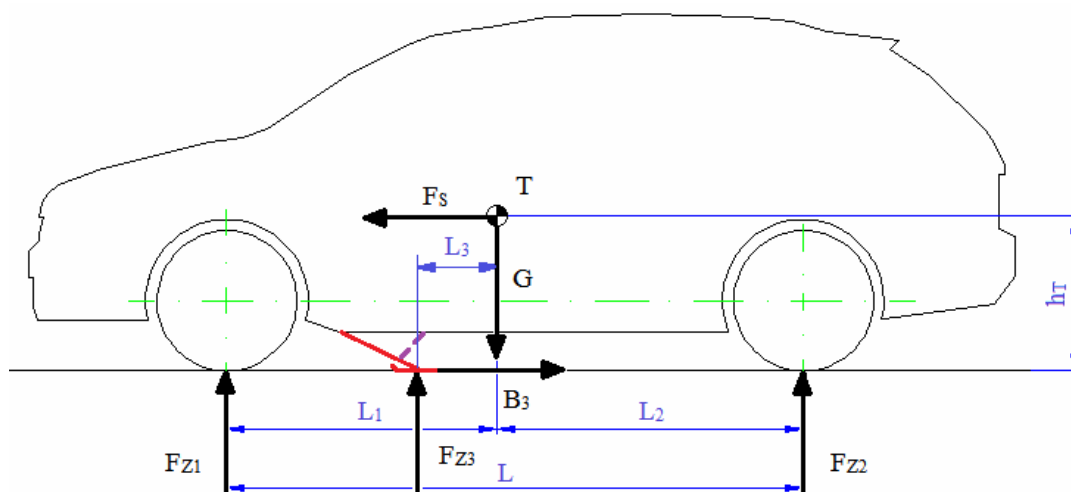
s<sub>1</sub> – brzdná dráha (provozní brzda)



**Obr. 16** – graf závislosti brzdné dráhy na rychlosti – provozní brzdění

### 5.3. Výpočet zatížení náprav u osobního automobilu – nouzové brzdění

V první části počítám statický výpočet pro nouzové brzdění, kde počítám momenty k jednotlivým bodům dotyku kola s vozovkou a nouzovým brzdňým systémem s vozovkou, ze kterých plynou normálové síly v těchto bodech, následuje dynamický výpočet, ze kterého vypočítám jednotlivé normálové síly, brzdné síly a změnu zatížení náprav, v poslední části tohoto bodu se zabývám brzdňými drahami.



**Obr. 17** – zobrazení tíhových sil na nápravách a jejich brzdné síly – nouzové brzdění

#### 5.3.1. Statický výpočet

**Tab. 5** – zjištěné hodnoty pro nouzové brzdění

$L$ [mm]	2462
$L_1$ [mm]	1152
$L_2$ [mm]	1310
$L_3$ [mm]	202
$h_T$ [mm]	662
$m$ [kg]	1150
$G$ [N]	11281,5
$g$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	9,81
$b$ [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	5,886
$\mu_s$	0,6
$m_3$ [kg]	383
$F_{Z3}$ [N]	3757,2

$\mu_s$  – součinitel adheze pneumatiky k vozovce při smyku

Z obr. 17 plyne momentová rovnice:

$$\Sigma M_1 = 0;$$

$$F_{Z2} \cdot L - G \cdot L_1 + F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) = 0$$

$$F_{Z2} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3)}{L} = \frac{11281,5 \cdot 1152 - 3757,2 \cdot (1152 - 202)}{2462} = \underline{\underline{3829N}}$$

$$\Sigma M_2 = 0;$$

$$-F_{Z1} \cdot L - F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 = 0$$

$$F_{Z1} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2}{L} = \frac{-3757,2 \cdot (1310 + 202) + 11281,5 \cdot 1310}{2462} = \underline{\underline{3695,3N}}$$

### 5.3.2. Dynamický výpočet

$$\Sigma M_1 = 0;$$

$$F_{Z2} \cdot L - G \cdot L_1 + F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) + F_s \cdot h_T = 0$$

$$F_{Z2} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - m \cdot b \cdot h_T}{L} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - m \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z2} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - \frac{G}{g} \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - G \cdot \mu \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z2} = \frac{11281,5 \cdot 1152 - 3757,2 \cdot (1152 - 202) - 11281,5 \cdot 0,6 \cdot 662}{2462} = \underline{\underline{2008,9N}}$$

$$\Sigma M_2 = 0;$$

$$-F_{Z1} \cdot L - F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + F_s \cdot h_T = 0$$

$$F_{Z1} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + m \cdot b \cdot h_T}{L} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + m \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z1} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + \frac{G}{g} \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + G \cdot \mu \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z1} = \frac{-3757,2 \cdot (1310 + 202) + 11281,5 \cdot 1310 + 11281,5 \cdot 0,6 \cdot 662}{2462} = \underline{\underline{5515,4N}}$$

z nichž plyne rozdíl sil na nápravách

$$\Delta F_{Z1} = {}^D F_{Z1} - {}^S F_{Z1} = 5515,4 - 3695,3 = \underline{\underline{1820,1N}}$$

$$\Delta F_{Z2} = {}^D F_{Z2} - {}^S F_{Z2} = 2008,9 - 3829 = \underline{\underline{-1820,1N}}$$

a rozdíl hmotnosti na nápravách

$$\Delta m_1 = \frac{\Delta F_{Z1}}{g} = \frac{1820,1}{9,81} = \underline{\underline{185,5N}}$$

$$\Delta m_2 = \frac{\Delta F_{Z2}}{g} = \frac{-1820,1}{9,81} = \underline{\underline{-185,5N}}$$

brzdná síla je tedy

$$B_3 = \mu_s \cdot F_{Z3} = 0,6 \cdot 3757,2 = \underline{\underline{2254,3N}}$$

### 5.3.3. Výpočet brzdných drah

“Nouzové brzdění musí umožňovat zastavení vozidla v přiměřené vzdálenosti v případě selhání provozního brzdění. Musí být odstupňovatelné. Řidič musí být schopen vykonat toto brzdění ze svého místa sedění, aniž by sejmul ruce s ovládacího orgánu řízení. Pro účely tohoto ustanovení se připouští, že současně se nemůže vyskytovat více než jedna porucha v systému provozního brzdění”. [11]

**Tab. 6** – požadavky na brzdný účinek pro nouzové brzdění jsou stanoveny podle EHK - R13, EHS 71/320 a vyhlášky MD ČR [11]

Kategorie vozidel podle EHK - R13 (druh, max. hmotnost m)		Osobní automobily M1
Nouzové brzdění	Max. brzdná dráha	$0,1 \cdot v_0 + 2 \cdot v_0^2 / 150$ s=93,4m
	Max. ruční síla	400N

**Tab. 7** – závislost brzdě dráhy na rychlosti pro nouzové brzdění

2	
m [kg]	1150
g [kg·m <sup>-2</sup> ]	9,81
G [N]	11281,5
f	0,015
μ <sub>s</sub>	0,6
b [m·s <sup>-2</sup> ]	5,886

S <sub>n</sub>	
V [km/h]	s [m]
0	0,00
10	1,33
20	5,33
30	12,00
40	21,33
50	33,33
60	48,00
70	65,33
80	85,33
90	108,00
100	133,33
110	161,33
120	192,00
130	225,33

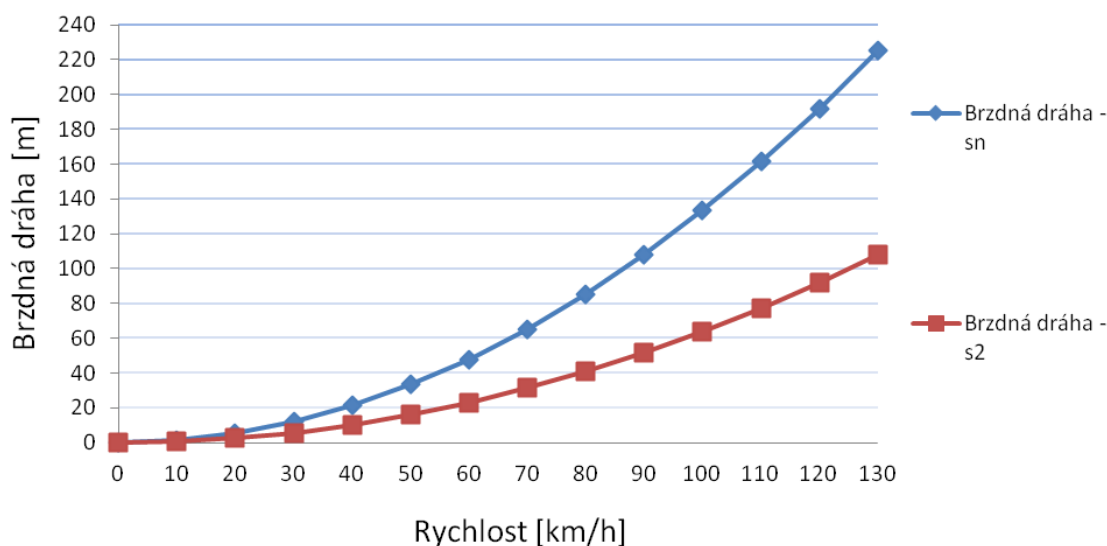
S <sub>2</sub>	
V [km/h]	s [m]
0	0,00
10	0,64
20	2,56
30	5,76
40	10,23
50	15,99
60	23,02
70	31,33
80	40,93
90	51,80
100	63,95
110	77,38
120	92,08
130	108,07

ΔS=S <sub>2</sub> -S <sub>n</sub>
Δs [m]
0,00
-0,69
-2,78
-6,24
-11,10
-17,35
-24,98
-34,00
-44,41
-56,20
-69,39
-83,96
-99,92
-117,26

S <sub>n</sub> - nouzové brzdění
s=2·V <sup>2</sup> /150

s<sub>n</sub> – maximální brzdě dráha daná předpisy EHK (pro nouzové brzdění)

s<sub>2</sub> – brzdě dráha (nouzová brzda)



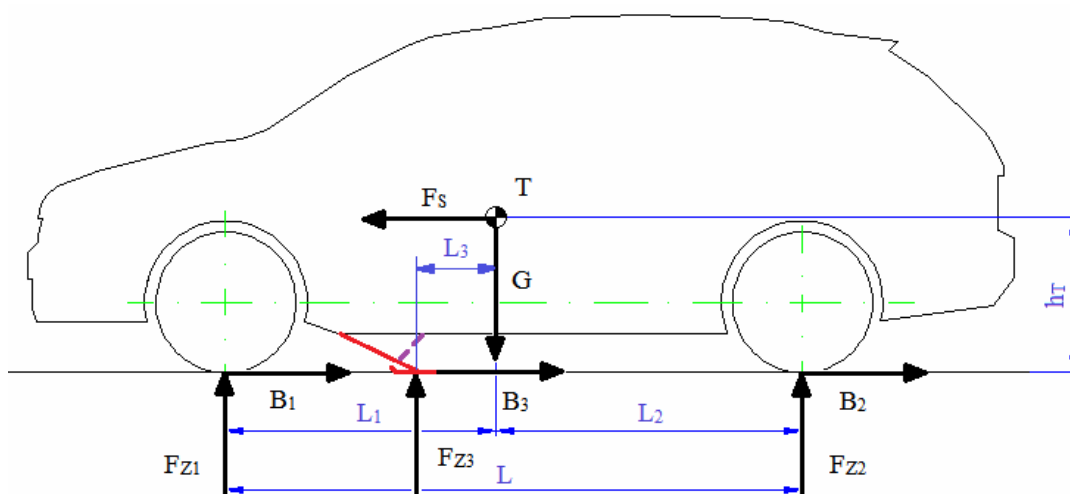
**Obr. 18** – graf závislosti brzdě dráhy na rychlosti pro nouzové brzdění

#### 5.4. Výpočet zatížení náprav u osobního automobilu – kombinované brzdění

V první části počítám statický výpočet pro kombinované brzdění, kde počítám momenty k jednotlivým bodům dotyku kola s vozovkou a nouzovým brzděným



systémem s vozovkou, ze kterých plynou normálové síly v těchto bodech, následuje dynamický výpočet, ze kterého vypočítám jednotlivé normálové síly, brzdné síly a změnu zatížení náprav, v poslední části tohoto bodu se zabývám brzdnými drahami.



**Obr. 19** – Zobrazení tíhových sil na nápravách a jejich brzdné síly

#### 5.4.1. Statický výpočet

**Tab. 8** – zjištěné hodnoty pro kombinované brzdění

L [mm]	2462
L <sub>1</sub> [mm]	1152
L <sub>2</sub> [mm]	1310
L <sub>3</sub> [mm]	202
h <sub>T</sub> [mm]	662
m [kg]	1150
G [N]	11281,5
g [kg·m <sup>-2</sup> ]	9,81
b [m·s <sup>-2</sup> ]	7,194654
μ <sub>s</sub>	0,6
μ <sub>v</sub>	0,8
μ	0,7334
m <sub>3</sub> [kg]	383
F <sub>Z3</sub> [N]	3757,2

μ – součinitel adheze pneumatiky k vozovce při valení a smyku

Z obr. 19 plyne momentová rovnice:

$$\Sigma M_1 = 0;$$

$$F_{Z2} \cdot L - G \cdot L_1 + F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) = 0$$

$$F_{Z2} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3)}{L} = \frac{11281,5 \cdot 1152 - 3757,2 \cdot (1152 - 202)}{2462} = \underline{\underline{3829N}}$$

$$\Sigma M_2 = 0;$$

$$-F_{Z1} \cdot L - F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 = 0$$

$$F_{Z1} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2}{L} = \frac{-3757,2 \cdot (1310 + 202) + 11281,5 \cdot 1310}{2462} = \underline{\underline{3695,3N}}$$

#### 5.4.2. Dynamický výpočet

$$\Sigma M_1 = 0;$$

$$F_{Z2} \cdot L - G \cdot L_1 + F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) + F_S \cdot h_T = 0$$

$$F_{Z2} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - m \cdot b \cdot h_T}{L} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - m \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z2} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - \frac{G}{g} \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L} = \frac{G \cdot L_1 - F_{Z3} \cdot (L_1 - L_3) - G \cdot \mu \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z2} = \frac{11281,5 \cdot 1152 - 3757,2 \cdot (1152 - 202) - 11281,5 \cdot 0,7335 \cdot 662}{2462} = \underline{\underline{1604,2N}}$$

$$\Sigma M_2 = 0;$$

$$-F_{Z1} \cdot L - F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + F_S \cdot h_T = 0$$

$$F_{Z1} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + m \cdot b \cdot h_T}{L} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + m \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z1} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + \frac{G}{g} \cdot \mu \cdot g \cdot h_T}{L} = \frac{-F_{Z3} \cdot (L_2 + L_3) + G \cdot L_2 + G \cdot \mu \cdot h_T}{L}$$

$$F_{Z1} = \frac{-3757,2 \cdot (1310 + 202) + 11281,2 \cdot 1310 + 11281,5 \cdot 0,7335 \cdot 662}{2462} = \underline{\underline{5920N}}$$

z nichž plyne rozdíl sil na nápravách

$$\Delta F_{Z1} = {}^D F_{Z1} - {}^S F_{Z1} = 5920 - 3695,3 = \underline{\underline{2224,7N}}$$

$$\Delta F_{z2} = {}^D F_{z2} - {}^S F_{z2} = 1604,2 - 3289 = \underline{\underline{-2224,7N}}$$

a rozdíl hmotnosti na nápravách

$$\Delta m_1 = \frac{\Delta F_{z1}}{g} = \frac{2224,7}{9,81} = \underline{\underline{226,8N}}$$

$$\Delta m_2 = \frac{\Delta F_{z2}}{g} = \frac{-2224,7}{9,81} = \underline{\underline{-226,8N}}$$

brzdná síla je tedy

$$B_1 = \mu_v \cdot F_{z1} = 0,8 \cdot 5920 = \underline{\underline{4736N}}$$

$$B_2 = \mu_v \cdot F_{z2} = 0,8 \cdot 1602,4 = \underline{\underline{1283,4N}}$$

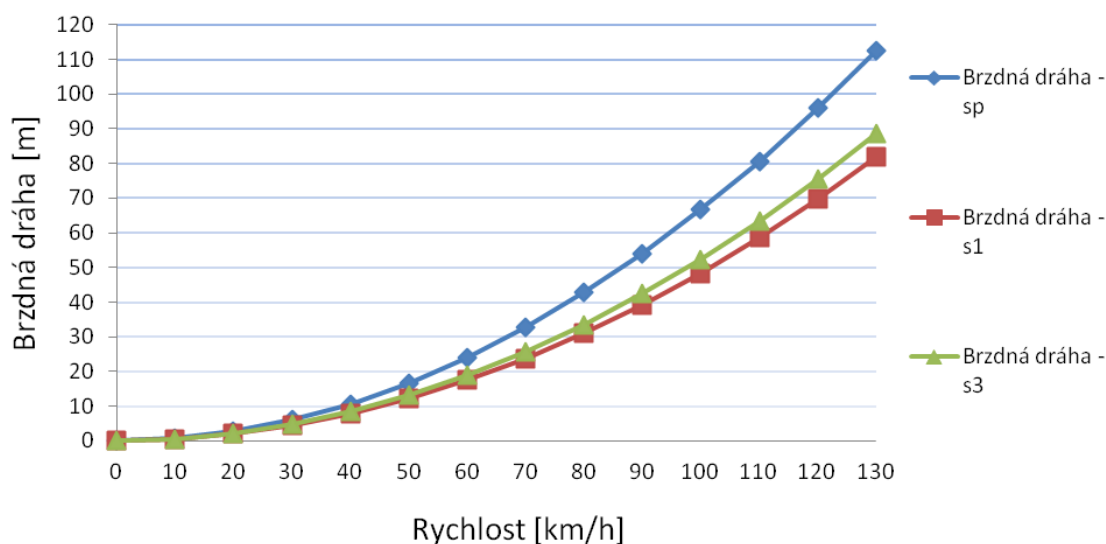
$$B_3 = \mu_s \cdot F_{z3} = 0,6 \cdot 3757,2 = \underline{\underline{2254,3N}}$$

### 5.4.3. Výpočet brzdných drah

**Tab. 9** – závislost brzdné dráhy na rychlosti pro kombinované brzdění

3		s <sub>p</sub>		s <sub>3</sub>		Δs=s <sub>p</sub> -s <sub>3</sub>
m [kg]	1150	V [km/h]	s [m]	V [km/h]	s [m]	Δs [m]
g [kg·m <sup>-2</sup> ]	9,81	0	0,00	0	0,00	0,00
G [N]	11281,5	10	0,67	10	0,52	0,04
f	0,017	20	2,67	20	2,10	0,16
μ	0,7335	30	6,00	30	4,72	0,36
b [m·s <sup>-2</sup> ]	7,195635	40	10,67	40	8,38	0,64
<div>s<sub>p</sub> - provozní brzdění</div> <div>s=V<sup>2</sup>/150</div>		50	16,67	50	13,10	1,01
		60	24,00	60	18,86	1,45
		70	32,67	70	25,68	1,97
		80	42,67	80	33,54	2,58
		90	54,00	90	42,45	3,26
		100	66,67	100	52,40	4,03
		110	80,67	110	63,41	4,87
		120	96,00	120	75,46	5,80
		130	112,67	130	88,56	6,81

s<sub>3</sub> – brzdná dráha (kombinované brzdění)



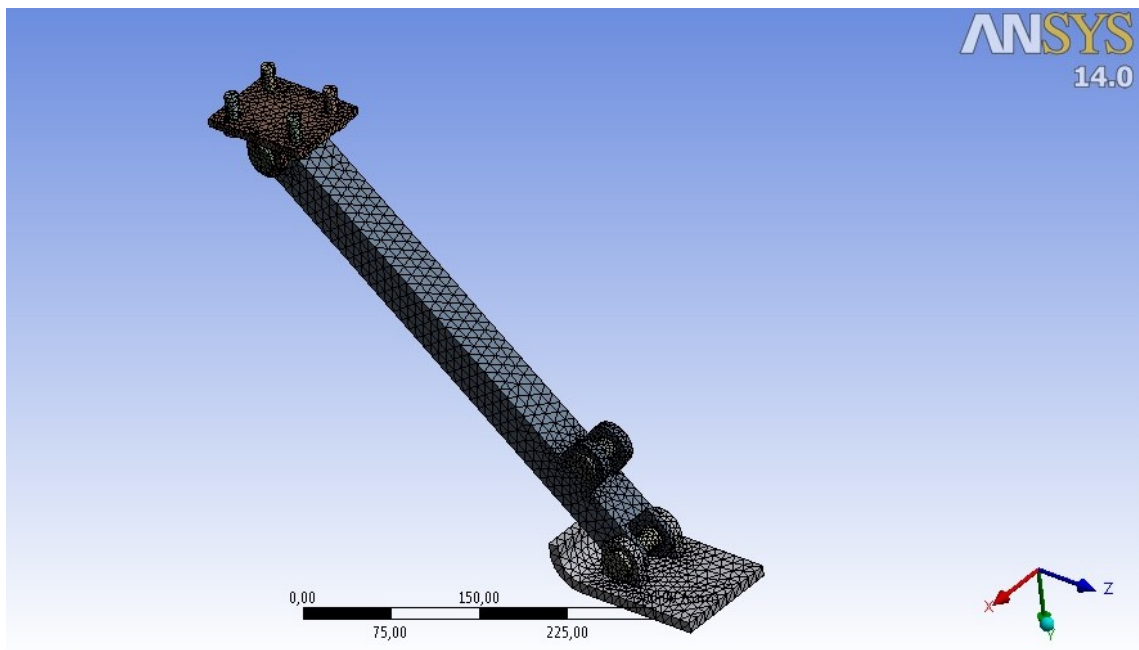
**Obr. 20** – graf závislosti brzdné dráhy na rychlosti pro kombinované brzdění

## 6. Pevnostní výpočet

V tomto bodě se budu zabývat pevnostním výpočtem konstrukčního řešení nouzové brzdy osobního automobilu. Rozměry i materiál jsem zvolil dle svého uvážení, které lze vyčíst z 3D modelu sestavy nebo z jednotlivých komponentů, které jsem vymodeloval v počítačovém programu Creo Parametric. Sestavu jsem převedl do počítačového programu ANSYS, který se zabývá metodou konečných prvků, kde vhodně zvolím síť sestavy a okrajové podmínky, pomocí kterých zjistím základní druhy namáhání.

### 6.1. Vytvoření sítě

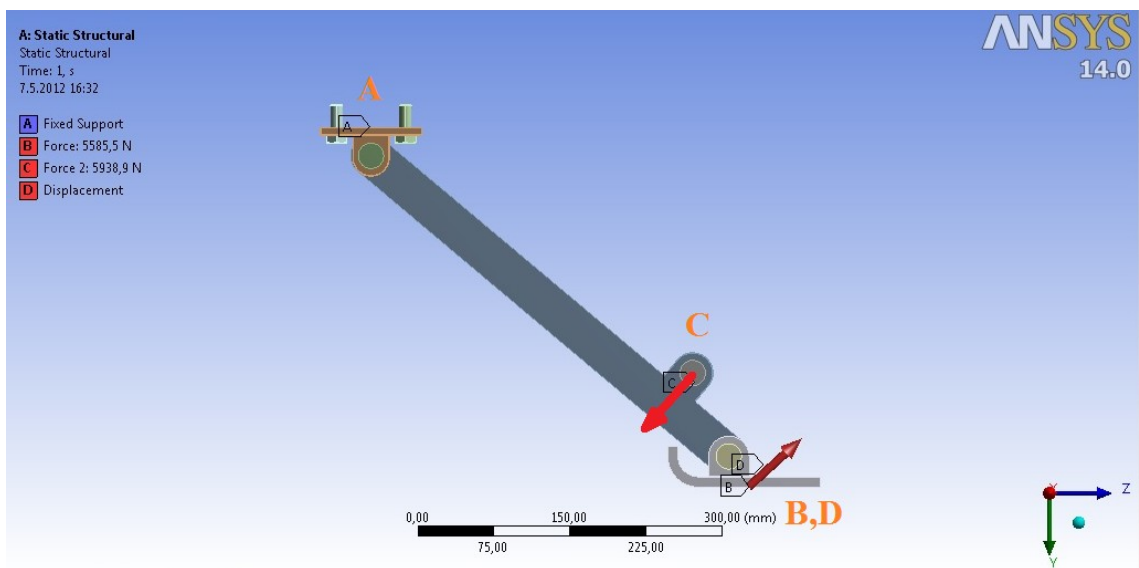
Pro jednodušší výpočet v počítačovém programu ANSYS, je nutno danou sestavu nejprve „vymeshovat“ – vytvořit vlastní síť, která se skládá z uzlů a elementů, kde lze měnit jejich počet v závislosti na přesnosti výpočtu.



*Obr. 21 – síť*

## 6.2. Okrajové podmínky

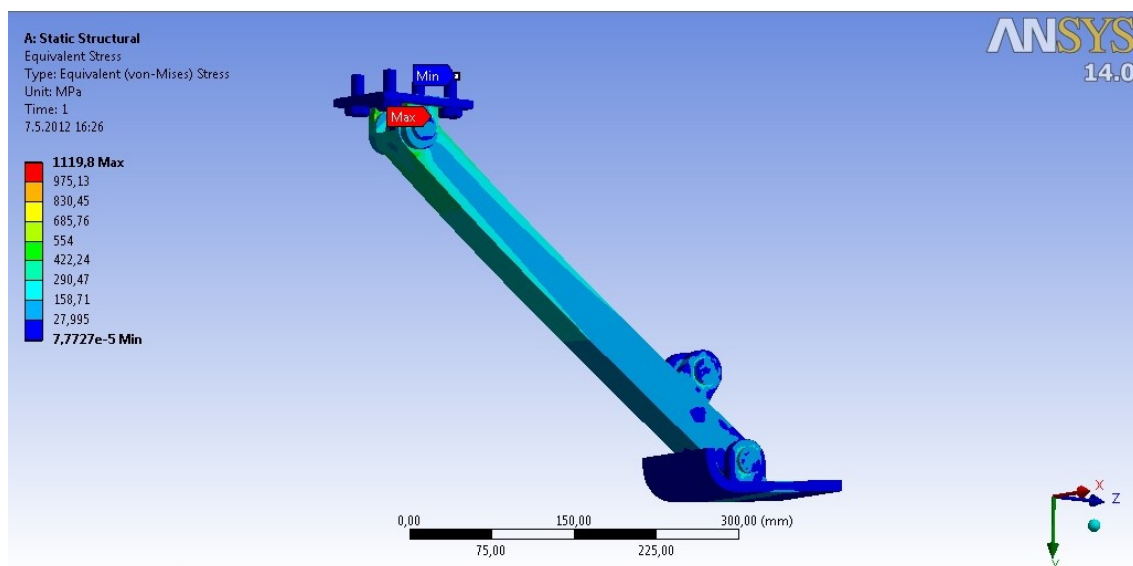
Sestavu brzdy zatížíme okrajovými podmínkami. V bodě A volím pevnou podporu, v bodě B je výsledný vektor sil působících na „lyžinu“,  $-F_{Z3}$  (v programu ANSYS osa y) a  $B_3$  (osa z), v bodě C je výsledný vektor přitlačných sil, které jsem volil působící na „čep“,  $F_1 = -4599,3\text{N}$  (osa z) a  $F_2 = F_{Z3}$  (osa y), v bodě D jsem volil pevnou vazbu v ose x a y, v ose z, jsem nechal volnou vazbu. Všechny body jsem pro přehlednost zvýraznil.



*Obr. 22 – okrajové podmínky*

### 6.3. Průběh napětí

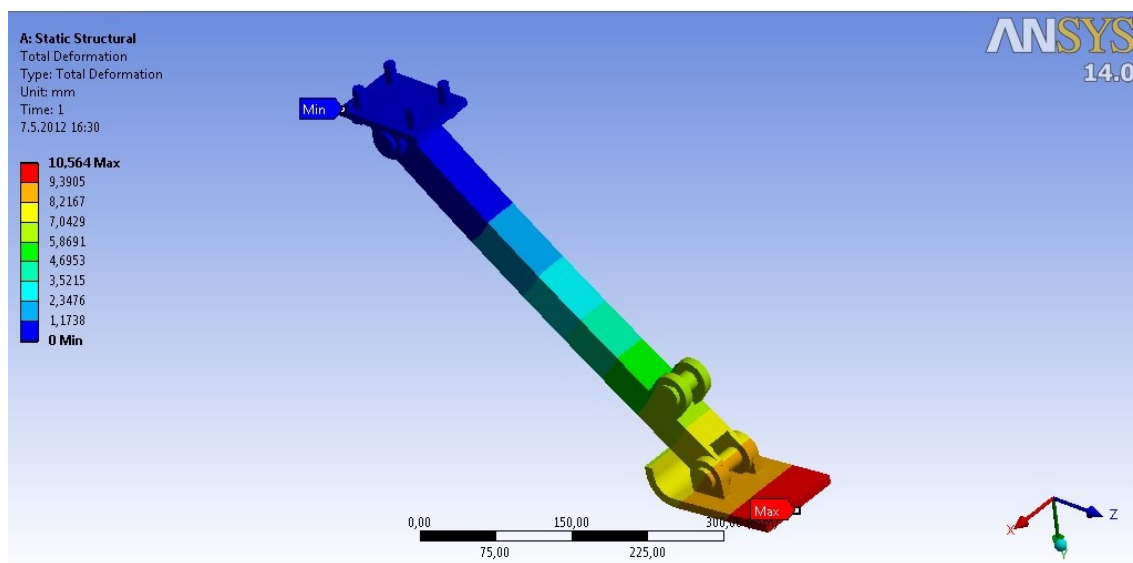
Největší napětí bylo vypočítáno na čepu, které je znázorněno na obrázku, minimální napětí bylo vypočítáno na šroubech, které jsou však při výpočtu potlačeny v programu ANSYS, tudíž jde o zkreslenou informaci. Průběh celého napětí je graficky znázorněn.



Obr. 23 – průběh napětí

### 6.4. Celková deformace

Nejmenší deformace byla na „uchycení“ a největší deformace byla na „lyžině“, které jsou zobrazeny na obrázku. Průběh celé deformace je graficky znázorněn.



Obr. 24 – celková deformace

## 7. Závěr a doporučení

V této bakalářské práci jsem se zabýval brzděním osobního automobilu různými brzdnými systémy. Jednalo se o systém provozního brzdění, nouzového brzdění a kombinovaného brzdění.

Ve výpočtech jsem počítal pouze s plným brzděním, bez doby reakce řidiče a bez doby náběhu brzdy.

Abych mohl určit brzdné dráhy jednotlivých brzdění, musel jsem vypočítat jednotlivé síly na nápravách a pomocí součinitele soudržnosti  $\mu$  jsem dopočetl jednotlivé brzdné síly.

V prvním případě jsem řešil brzdění provozní brzdou, kde jsem vypočítal menší brzdnou dráhu, než je daná předpisem EHK, což je v pořádku. V druhém případě jsem se zabýval nouzovým brzděním, kde jsem také vypočítal menší brzdnou dráhu, než je daná předpisem EHK, což je také v pořádku a ve třetím případě jsem se zabýval kombinovaným brzděním, kde jsem použil dohromady provozní brzdu, s nouzovou brzdou. Brzdnou dráhu jsem vypočítal menší, než je brzdná dráha daná předpisem EHK pro provozní brzdění, ale větší, než brzdná dráha při brzdění provozní brzdou a to z důvodu, že se zmenšilo výsledné  $\mu$ , protože část sil, které působily na kolech při valení, využívaly součinitele  $\mu_v$ , se přenesly na konstrukci nouzové brzdy, která využívala menšího součinitele  $\mu_s$ . Vše jsem uvedl v tabulkách a znázornil v grafech.

Z vypočtených hodnot lze říci, že navržený brzdný systém se hodí pouze pro nouzové brzdění. Aby byla brzdná dráha menší při kombinovaném brzdění, než při provozním brzdění, musel by být součinitel  $\mu_s > \mu_v$  a poté by bylo možné brzdný systém použít i jako provozní brzdu.

Z pohledu zatěžujících sil byl výpočet brzdné soustavy v pořádku a výsledné hodnoty napětí byly menší, než dovolené napětí.

V praxi by tento brzdný systém měl malé uplatnění, protože v osobních automobilech už jedna nouzová brzda je a musela by být velká náhoda, aby přestala fungovat provozní brzda i současná nouzová brzda.

## **8. Seznam tabulek**

**Tab. 1** – vlastnosti dvouokruhových brzdných soustava

**Tab. 2** – zjištěné hodnoty pro provozní brzdění

**Tab. 3** – požadavky na brzdný účinek pro provozní jsou stanoveny podle EHK - R13, ES 71/320 a vyhlášky MD ČR

**Tab. 4** – brzdné dráhy v závislosti na rychlosti pro provozní brzdění

**Tab. 5** – zjištěné hodnoty pro nouzové brzdění

**Tab. 6** – požadavky na brzdný účinek pro nouzové brzdění jsou stanoveny podle EHK - R13, EHS 71/320 a vyhlášky MD ČR

**Tab. 7** – závislost brzdné dráhy na rychlosti pro nouzové brzdění

**Tab. 8** – zjištěné hodnoty pro kombinované brzdění

**Tab. 9** – závislost brzdné dráhy na rychlosti pro kombinované brzdění



## 9. Seznam použité literatury

- [1] ČECH, J., *Pasivní bezpečnost*, 1999, 132s.
- [2] Evropská rada. Směrnice rady 71/320/EHS: O sblížení právních předpisů členských států týkající se brzdových zařízení určitých kategorií motorových vozidel a jejich přípojných vozidel, [s.l.] : [s.n.], 2002, 168s.
- [3] OSN. Dohoda: O jednotných ustanoveních pro homologaci osobních automobilů z hlediska brzdění, [s.l.] : [s.n.], 1995, 62s.
- [4] OSN. Dohoda: O jednotlivých ustanoveních pro homologaci vozidel kategorií M, N a O z hlediska brzdění, [s.l.] : [s.n.], 1995, 237s.
- [5] *Referáty-seminárky* [online]. [cit. 18.3.2012] Dostupné na www:  
<<http://referaty-seminarky.cz/brzdova-soustava/>>
- [6] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy*. 3. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006, 464s. ISBN 80-238-5274-4.
- [7] *Referáty-seminárky* [online]. [cit. 18.3.2012] Dostupné na www:  
< <http://referaty-seminarky.cz/brzdy-a-vse-jak-zastavit-vozidlo/>>
- [8] RICHTÁŘ, M. *Brzdy a brzdová ústrojí* [online]. [cit. 18.3.2012] Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. Dostupné na www:  
<<http://fs1.vsb.cz/~ric69/Brzdy.pdf>>
- [9] MATĚJKA, R. *Brzdy a brzdové soustavy*
- [10] JAN, Vratislav. Ždánský, Bronislav. Čupera, Jiří. *Automobily: podvozky (I)*. Brno, 2009, 245s. ISBN 978-8087143-11-7
- [11] OSN. Dohoda: O přijetí jednotlivých pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a/nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací, udělených na základě těchto pravidel, [s.l.] : [s.n.], 1995, 62s.

## **10. Přílohy**

K práci je přiložené CD s uloženým textem bakalářské práce a zvláštní přílohou, ve které je vymodelovaná 3D sestava v programu Creo Parametric a jednotlivé komponenty, ze kterých se skládá.